

ياحوف بيريلمان

الفيزياء المسلية

الكتاب الاول

الطبعة الثالثة

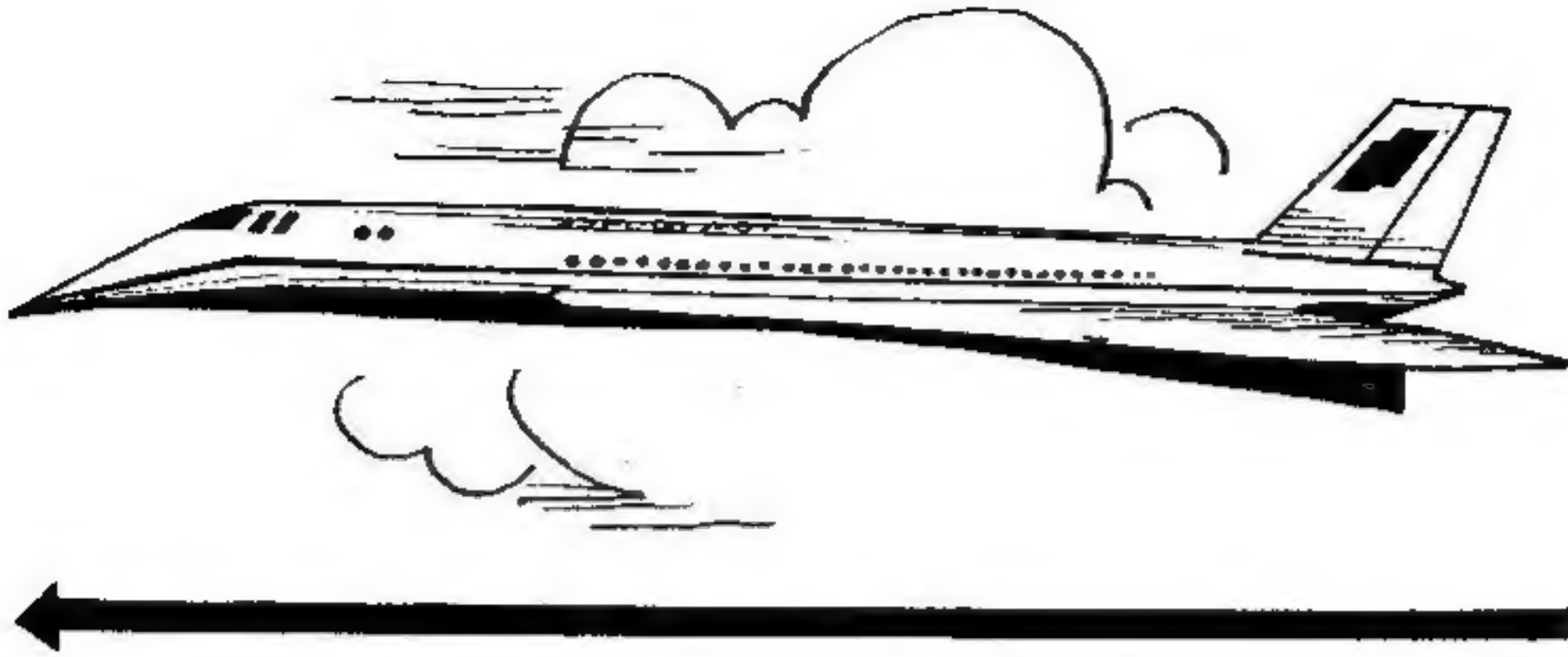
دار «مير» للطباعة والنشر موسكو ١٩٧٧

بآية سرعة نتحرك ؟

ان العداء الجيد يقطع مسافة قدرها ١٥ كم ، في ٣ دقائق و ٥٠ ثانية (الرقم القياسي العالمي لعام ١٩٥٨ هو ٣ دقائق و ٣٦ر٨ ثانية) . وللمقارنة مع السرعة العادية للمشاة - ١٥ م في الثانية - يجب القيام بعملية حسابية صغيرة . عندئذ يظهر ان العداء يقطع في الثانية الواحدة ٧ امتار . وبالمناسبة ، فان هذه السرعة غير ثابتة : اذ يستطيع الانسان ان يسير طويلا لعدة ساعات كاملة ، وان يقطع في الساعة الواحدة ٥ كم . اما العداء ، فيستطيع المحافظة على سرعته الكبيرة لمدة قصيرة فقط . ان وحدة المشاة العسكرية ، تنتقل بخطوات سريعة ، ابطأ بثلاث مرات من سرعة العداء ، اذ تقطع في الثانية الواحدة ٢ م ، او ما يزيد على ٧ كم في الساعة الواحدة ، ولكنها تمتاز عن العداء ، بقابليتها لقطع مسافات اكبر كثيرا .

ومن الممتع ، مقارنة الخطوة العادية للانسان . بسرعة بعض الحيوانات البطيئة - التي يضرب بها المثل - كالقوقعة والسحفاة . وقد اكدت القوقعة تماما ، صحة ما يقوله عنها المثل : فهي تقطع ١٥ مم في الثانية ، او ٤ر٥ م في الساعة - اقل من الانسان بألف مرة تماما . ولا يستطيع الحيوان الآخر ، النموذجي في البطء ، وهو السحفاة ، ان يجرى بسرعة تزيد عن ٧٠ م في الساعة .

والانسان الحثيث الخطى ، بالنسبة للقوقعة والسحفاة ، يبدو في عالم آخر ، اذا قارنا حركته ، حتى ببعض الحركات غير السريعة جدا ، الموجودة في الطبيعة المحيطة بنا . وهو ، والحق يقال ، يسبق مجرى الماء في اكثر الانهار الجارية في السهول

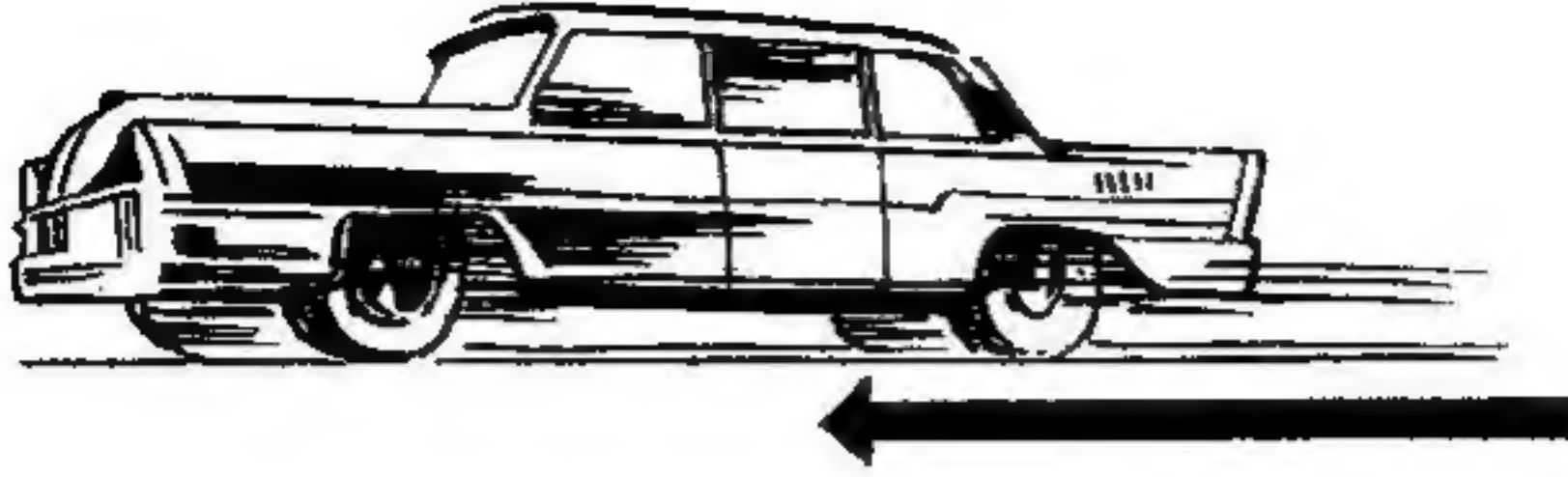


شكل ١ : طائرة ركاب سوفيتية نفثة مركة تو - ١٤٤ .

بسهولة ، ولا يتأخر كثيرا عن الرياح المعتدلة . ولكن الانسان يستطيع بنجاح مسابقة الذبابة ، التي تطير بسرعة ٥ م في الثانية ، ما لم يكن يتزلج على الثلج . وليس في استطاعة الانسان ان يسبق الارنب او كلب الصيد ، حتى لو كان على ظهر حصان سريع . ويستطيع مسابقة النسر ، بركوبه طائرة فقط .

ان المكنات التي اخترعها الانسان ، جعلت منه اسرع مخلوق على وجه الارض . وقد تم في الاتحاد السوفيتي ، صنع سفن ركاب ذات اجنحة تحت سطح الماء (شكل ٣) ، تتراوح سرعتها بين ٦٠ و ٧٠ كم/ساعة . ويستطيع الانسان ان يتحرك على الارض ، اسرع مما يتحرك على الماء . وفي الاتحاد السوفيتي ، تبلغ سرعة قطارات الركاب ، على كثير من خطوط السكك الحديدية ١٤٠ كم/ساعة . وتصل سرعة سيارة الركاب « تشايكا » ، التي تحتوى على سبعة مقاعد ، الى ١٦٠ كم/ساعة (شكل ٢) . اما سرعة الطيران الحديث ، فقد فاقت كافة السرع المذكورة كثيرا .

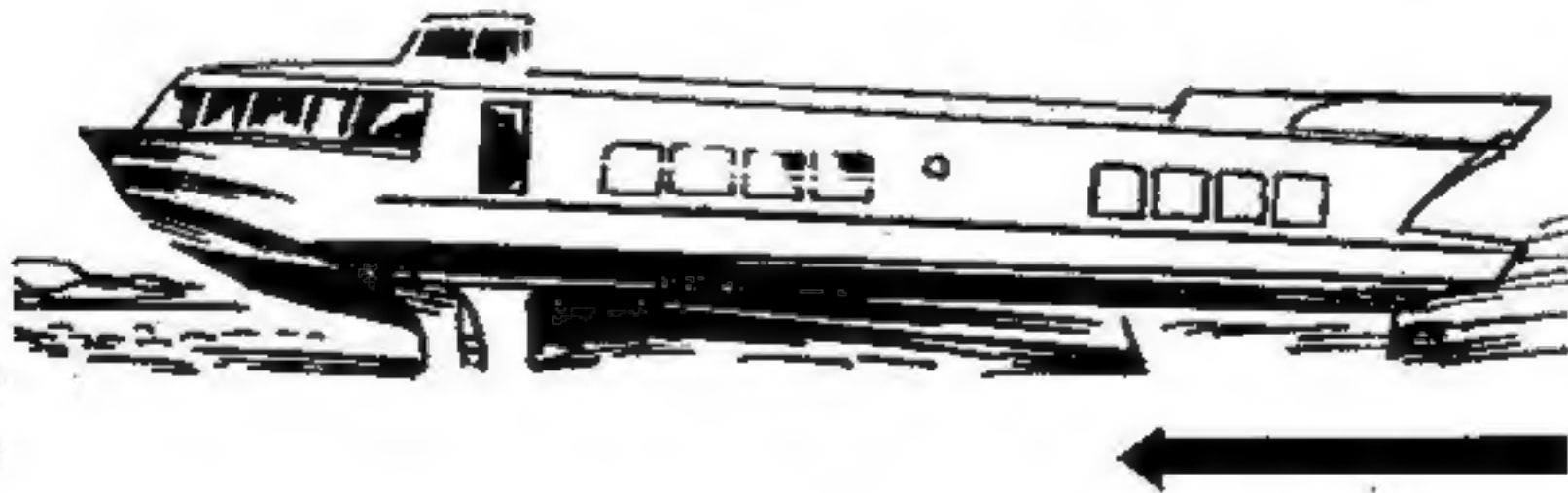
وفي الاتحاد السوفيتي ، وكذلك في عدد من الدول الاخرى ، تعمل على الخطوط الجوية المدنية ، طائرات ركاب سوفيتية نفثة كثيرة المقاعد ، من طراز تو - ١٠٤ وتو - ١١٤ وال - ١٨ وال - ٦٢ وغيرها . ويتراوح معدل سرعة طيرانها بين ٨٠٠ -



شكل ٢ : سيارة ركاب سوفيتية « تشايكا »

١٠٠٠ كم / ساعة . ومنذ وقت غير بعيد ، وضع المصممون امامهم ، مسألة اختراق « الحاجز الصوتي » والانطلاق بسرعة تزيد على سرعة الصوت (٣٣٠ م / ثانية ، اي ١٢٠٠ كم / ساعة) . وقد تم في الوقت الحاضر حل هذه المسألة . ان سرعة الطائرات الحربية - لا المقاتلة فحسب ، بل وقاذفات القنابل ايضا - تفوق سرعة الصوت بثلاث او اربع مرات .

وقد تم في الاتحاد السوفيتي صنع طائرات ركاب ، تفوق سرعتها سرعة الصوت . ويمكن ان تصل سرعة الاجهزة التي اخترعها الانسان ، الى اكثر مما ذكرناه . لقد اطلق القمر الصناعي السوفيتي الاول ، بسرعة ابتدائية بلغت حوالي ٨ كم / ثانية . وسرعان ما زادت سرعة الصواريخ الفضائية السوفيتية ، المنسماة بالسرعة الكونية الثانية ، فبلغت فوق سطح الارض ١١ر٢ كم / ثانية ، الامر الذي مكنتها من الوصول الى القمر ، ومن ثم الى الزهرة والمريخ .



شكل ٣ : سفينة ركاب سريعة ذات أجنحة تحت سطح الماء .

ونقدم فيما يلي ، جدولاً للسرع المختلفة ، لكي يطلع عليه القارئ :

القفزة	١,٥ م/ثانية	٥,٤ م/ساعة
السلحفاة	٢٠ م/ثانية	٧٠ م/ساعة
السكة	١ م/ثانية	٣,٥ كم/ساعة
الانسان السائر على قدميه	١,٤ م/ثانية	٥ كم/ساعة
الفرس بخطوات عادية	١,٧ م/ثانية	٦ كم/ساعة
الفرس ، بخطوات سريعة	٣,٥ م/ثانية	١٢,٦ كم/ساعة
الذباية	٥ م/ثانية	١٨ كم/ساعة
الانسان المتزلج على الثلج	٥ م/ثانية	١٨ كم/ساعة
الفرس السريع	٨,٥ م/ثانية	٣٠ كم/ساعة
سفينة ذات اجنحة تحت سطح الماء	١٦ م/ثانية	٥٨ كم/ساعة
الارنب	١٨ م/ثانية	٦٥ كم/ساعة
النسر	٢٤ م/ثانية	٨٦ كم/ساعة
كلب الصيد	٢٥ م/ثانية	٩٠ كم/ساعة
القطار	٢٨ م/ثانية	١٠٠ كم/ساعة
سيارة سباق (الرقم القياسي)	١٧٤ م/ثانية	٦٣٣ كم/ساعة
طائرة من طراز قو- ١٠٤	٢٢٠ م/ثانية	٨٠٠ كم/ساعة
الصوت في الهواء	٣٣٠ م/ثانية	١٢٠٠ كم/ساعة
طائرة نفثة اسرع من الصوت	٥٥٠ م/ثانية	٢٠٠٠ كم/ساعة
السرعة المدارية للأرض	٣٠٠٠٠ م/ثانية	١٠٨٠٠٠ كم/ساعة

سباق مع الزمن

هل يمكننا الطيران من مدينة فلاديفستوك في الساعة الثامنة صباحاً ، والوصول الى مدينة موسكو في الساعة الثامنة من صباح نفس اليوم ؟ ليس هذا السؤال عديم المعنى بتاتا . نعم ، يمكننا ذلك . ولكي نفهم هذا الجواب ، يجب فقط ان نتذكر ان الفرق بين توقيت مدينتي فلاديفستوك وموسكو ، يبلغ تسع ساعات . فاذا استطاعت الطائرة

قطع المسافة بين فلاديفستوك وموسكو في ذلك الزمن ، لوصلت موسكو في نفس الساعة التي اقلعت فيها من فلاديفستوك .

وتبلغ المسافة بين فلاديفستوك وموسكو ، حوالى ٩٠٠٠ كم . وهذا يعنى ان سرعة الطائرة يجب ان تساوى $\frac{9000}{9} = 1000$ كم / ساعة . وفى الظروف الراهنة ، يمكننا بسهولة الوصول الى مثل هذه السرعة .

ولكى « نسبق الشمس » (او الارض بالاحرى) ، عند خطوط العرض القطبية ، نحتاج الى سرعة قليلة جدا . فعند خط العرض ٧٧ (فوق المنطقة المسماة نوقايا زيمليا) ، تقطع الطائرة التى تبلغ سرعتها حوالى ٤٥٠ كم / ساعة ، نفس المسافة التى تقطعها نقطة معينة فوق سطح الارض ، اثناء دوران الارض حول محورها ، فى نفس الفترة من الزمن . وبالنسبة لراكب مثل هذه الطائرة ، تكون الشمس واقفة . وتبقى معاكمة فى السماء بلا خراك ، دون ان تميل الى المغيب (وعند ذلك ، بالطبع ، يجب ان تتحرك الطائرة فى الاتجاه الملائم) . والاسهل من ذلك ، ان « نسبق القمر » فى دورانه الذاتى حول الارض . ان سرعة دوران القمر حول الارض ، ابطأ بتسع وعشرين مرة من سرعة دوران الارض حول محورها (تتم المقارنة ، بالطبع ، بتلك السرعة التى تسمى بالسرعة « الزاوية » وليس بالسرعة الخطية) . ولهذا السبب ، تستطيع الباخرة التى تتراوح سرعتها بين ٢٥ و ٣٠ كم / ساعة ، ان « تسبق القمر » عند خطوط العرض المتوسطة .

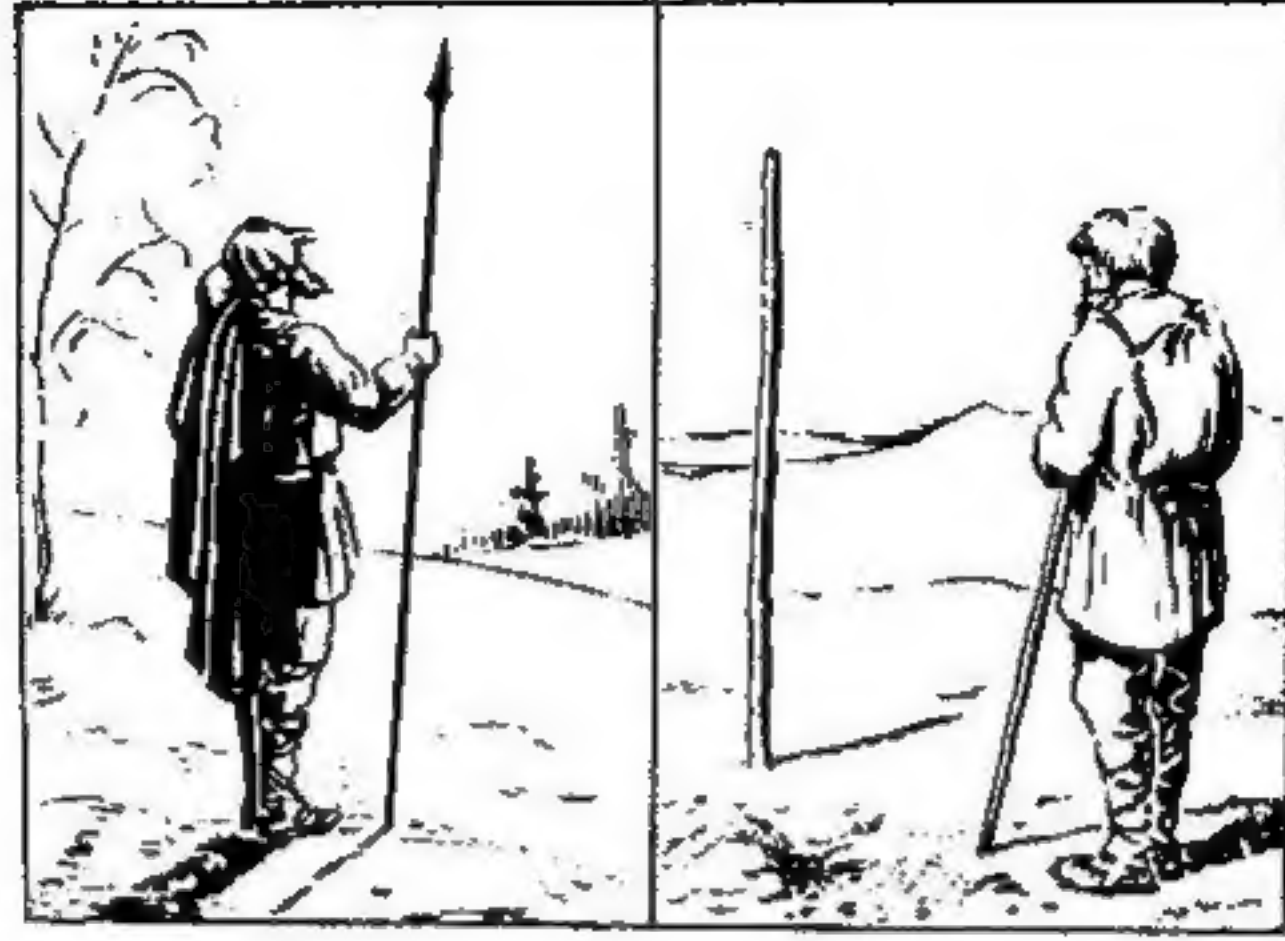
وقد ذكر مارك توين هذه الظاهرة ، فى مقالاته المعنونة « بلهاء فى الخارج » . اثناء رحلة عبر المحيط الاطلسى ، من مدينة نيويورك الى الجزر الخالدة « كان الجو صيفيا رائعا ، وكان الليل اجمل من النهار . لاحظنا ظاهرة غريبة ، هى ظهور القمر فى نفس النقطة من السماء ، وفى نفس الوقت من كل مساء . وفى بداية الامر ، بقى نصرف القمر بهذا الشكل الغريب ، لغزا محيرا بالنسبة لنا ، ولكننا ادركنا السبب فيما بعد : لقد كنا نوفر كل يوم عشرين دقيقة من الوقت ، لاننا كنا نسير بسرعة نحو الشرق ، اى ربحنا من الوقت فى كل يوم ، ما يكفىنا للحاق بالقمر » .

جزء من الف من الثانية

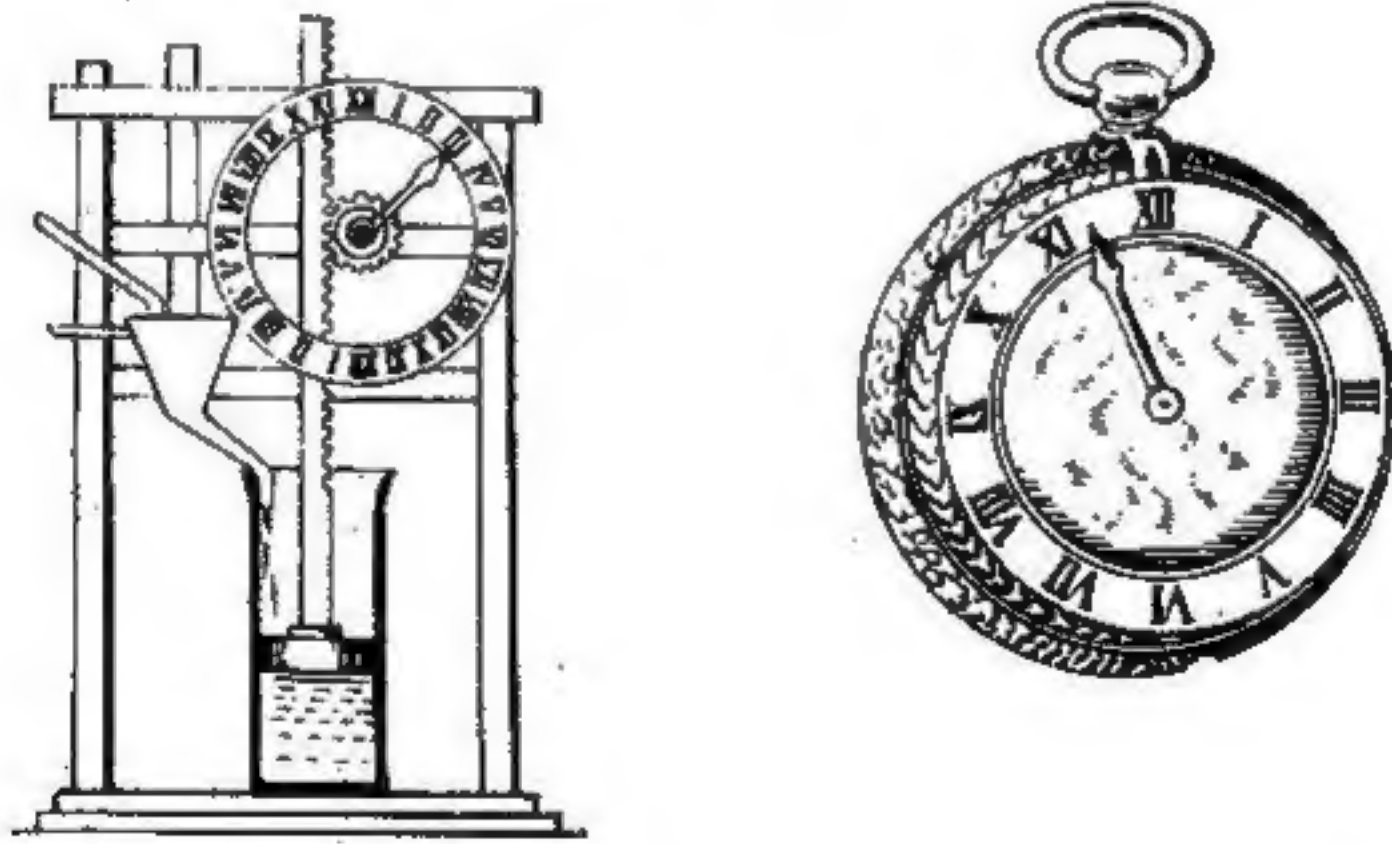
ان جزءا من الف من الثانية ، لا يعنى اى شىء ، بالنسبة للانسان الذى اعتاد على قياس الزمن بمقاييسه المألوفة . ان مثل هذه الفترات الزمنية ، اخذت تصادفنا فى حياتنا العملية ، منذ وقت قريب فقط . وعندما عين الاقدمون الوقت ، تبعا لارتفاع الشمس او لطول الظل ، لم يكن هناك مجال للحديث عن الدقة ، حتى لحد الدقيقة (شكل ٤) . فقد اعتبر الناس الدقيقة ، زمنا من الضالة بمكان ، بحيث تنتفى الحاجة الى قياسه . لقد عاش الاقدمون حياة متواتية ، بحيث لم تحتو ساعاتهم - الشمسية والمائية والرملية - على تقاسيم خاصة بالدقائق (شكل ٥) . اما عقرب الدقائق ، فقد ظهر على الساعة لأول مرة ، فى مطلع القرن الثامن عشر . كما ظهر عقرب الثواني فى مطلع القرن التاسع عشر .

ما الذى يمكننا ان نفعله فى جزء من الف من الثانية ؟ اشياء كثيرة ! فالقطار ، يستطيع خلال هذه الفترة الزمنية ، ان يقطع مسافة لا تزيد فى الحقيقة على ثلاثة سنتيمترات فقط ، ويقطع الصوت مسافة قدرها ٣٣ سم ، وتقطع الطائرة مسافة تقدر بنصف متر تقريبا ، وتقطع الارض اثناء دورانها حول الشمس ، مسافة قدرها ٣٠ م ، اما الضوء فيقطع مسافة تبلغ ٣٠٠ كم .

ولو كان باستطاعة الحشرات المحيطة بنا ، ان تناقش الامور ، لكان من المحتمل الا تعتبر هذا الجزء من الالف من الثانية ، زمنا لا قيمة له . اذ ان قيمته ملموسة تماما لدى الحشرات . ان البعوضة تخفق بجناحيها ، ما يتراوح بين ٥٠٠ و ٦٠٠ مرة فى الثانية ، وهذا يعنى ان البعوضة تستطيع فى فترة جزء من الف من الثانية ، ان ترفع جناحيها او تخفضهما . اما الانسان ، فلا يستطيع تحريك اعضائه ، بمثل هذه السرعة ، كما تفعل البعوضة . ان اسرع حركة لدينا ، هى طريقة العين « غمزة العين » او « اللحظة » ، فى مفهومها الاساسى . وهى تتم بسرعة كبيرة ، بحيث لا نشعر معها ، حتى بانقطاع الروبنا ، الوقتى . ولكن البعض يعرف ان هذه الحركة - التى تعنى سرعة لا يمكن



شكل ٤ : تعيين الوقت تبعاً لموقع الشمس في السماء (الرسم الايسر) ، وتبعاً لطول الظل (الرسم اليمين) .
 التعبير عنها — تحدث بصورة بطيئة نوعاً ما ، اذا ما قيست باجزاء من الف من الثانية .
 فقد سجلت المقاييس الحساسة ، ان « طرفة العين » باكملها ، تستغرق في المعدل
 ٢—ثانية ، اي ٤٠٠ جزء من الف من الثانية . وتتم هذه العملية ، على عدة مراحل ،



شكل ٥ : ساعة مائية كانت تستخدم في العصور القديمة (الرسم الايسر) . ساعة جيب قديمة (الرسم اليمين) . ونلاحظ عدم وجود عقرب اللقائق في كلتا الساعتين المذكورتين .

كما يلي : أولا ، اطباق الجفنين ، ويأخذ من الوقت ما يتراوح بين ٧٥ و ٩٠ جزءا من الف من الثانية ؛ ثانيا ، سكون الجفن المطبق وعدم تحركه ، ويستغرق ما يتراوح بين ١٣٠ و ١٧٠ جزءا من الف من الثانية ؛ ثالثا ، فتح الجفنين ، ويستغرق حوالى ١٧٠ جزءا من الف من الثانية . وكما نرى ، فان « طرفة العين » الواحدة ، بالمعنى الحرفى لهذه الكلمة ، هى فترة زمنية كبيرة نوعا ما ، حتى ان جفن العين يستطيع خلالها الراحة قليلا .

ولو استطعنا ان نتخيل الصور المستقلة لما يحدث خلال جزء من الف من الثانية ، لرأينا « فى طرفة العين الواحدة » حركتين سلسيتين لجفن العين ، تفصلهما فترة استراحة . ولو كان جهازنا العصبى مركبا بهذا الشكل ، لرأينا العالم المحيط بنا متغيرا كل التغير . وقد قام الكاتب الانكليزى ويلز بوصف تلك الصور الغريبة ، التى كنا سنراها عندئذ بأعيننا ، وذلك فى قصته « احدث معجّل » . لقد تناول ابطال القصة دواء وهميا ، يؤثر على الجهاز العصبى ، بحيث يجعل اعضاء الحس سريعة التأثر بسلسلة الظواهر السريعة الحدوث . وهذه عدة امثلة من القصة :

« - هل رأيت حتى الآن ، ستارة معلقة على النافذة بهذا الشكل ؟

نظرت الى الستارة ، فوجدت انها جامدة ، وكانت زاويتها التى انثنت بتأثير الريح ، ثابتة فى وضعها الاخير . فقلت له

« - لم ار مثل ذلك ابدا ، يا للغرابة ؟ !

« - وهل رأيت مثل هذا ؟

قال ذلك وبسط راحة يده التى تحمل القدح .

وتوقعت ان يتحطم القدح ، ولكنه حتى لم يتحرك ، اذ تعلق فى الهواء بلا حراك .

وقال جيبيرن مواصلا الحديث :

« - انك تعلم بالطبع ان الجسم الساقط ، يقطع فى الثانية الاولى مسافة ٥ م . والآن

يقطع القدح الامتار الخمسة هذه في حين لم يمض حتى الآن جزء من مائة من الثانية * .
وبإمكانك الآن تقدير قوة « معجل » .

ثم هبط القدح ببطء ، وتلمسه جييرن ، من كافة جوانبه .
ونظرت من النافذة ، فرأيت راكب دراجة عادية ، جامدا في محله ، وخلفه غبار
كثيف جامد ، وهو يحاول اللحاق بعربة خيول صغيرة ، جامدة في محلها ايضا .
ولفتت انتباهنا حافلة لنقل الركاب ، وهي جامدة تماما كالصخرة . وكانت اطارات
العجلات وقوائم الخيول ، وطرف السوط ، والفك السفلى للحوذى (الذى بدأ تورا بالتأرب)
— كلها تتحرك ، ولو بصورة بطيئة . اما بقية محتويات تلك الحافلة ، فقد جمدت تماما .
وكان الركاب الجالسون بداخلها ، شبه بالتمثيل .

وقد جمد احد الاشخاص ، بالضبط في تلك اللحظة ، التى بذل فيها قوة خارقة
للعادة ، لكى يطوى جريدته بوجه الريح . ولكن لم يكن للريح وجود بالنسبة لنا . ان
كل ما قلته وفكرت فيه وفعلته ، منذ اللحظة التى تغلغل فيها « المعجل » فى جسمى ،
لم يكن الا طرفة عين بالنسبة لبقية البشر كافة ، وللكون باجمعه .

وربما سيكون من الممتع بالنسبة للقراء ، ان يطلعوا على اقل فترة زمنية يمكن قياسها
بأحدث الاجهزة العلمية ! لقد بلغت هذه الفترة الزمنية ، فى مطلع القرن العشرين ، جزءا
من عشرة الاف من الثانية ، اما الآن فيستطيع الفيزيائي فى مختبره ، ان يقيس زمنا
يساوى جزءا من مائة مليار ($\frac{1}{100,000,000,000}$) من الثانية . ان هذه الفترة الزمنية تقل
عن الثانية الواحدة ، بنفس المقدار الذى تقل فيه الثانية الواحدة عن ٣٠٠٠ سنة .

° فيما يتعلق بذلك ، يجب ان تأخذ فى الاعتبار ، ان الجسم الساقط لا يقطع فى اول جزء من مائة من
الثانية الاول ، مسافة تساوى جزءا من مائة من الخمسة امتار ، انما يقطع جزءا من عشرة آلاف جزء منها
(بموجب الصيغة $m = \frac{1}{2} g t^2$) ، اى نصف مليمترا ، ويقطع فى اول جزء من الف من الثانية ، مسافة $\frac{1}{100}$ مم

فقط .

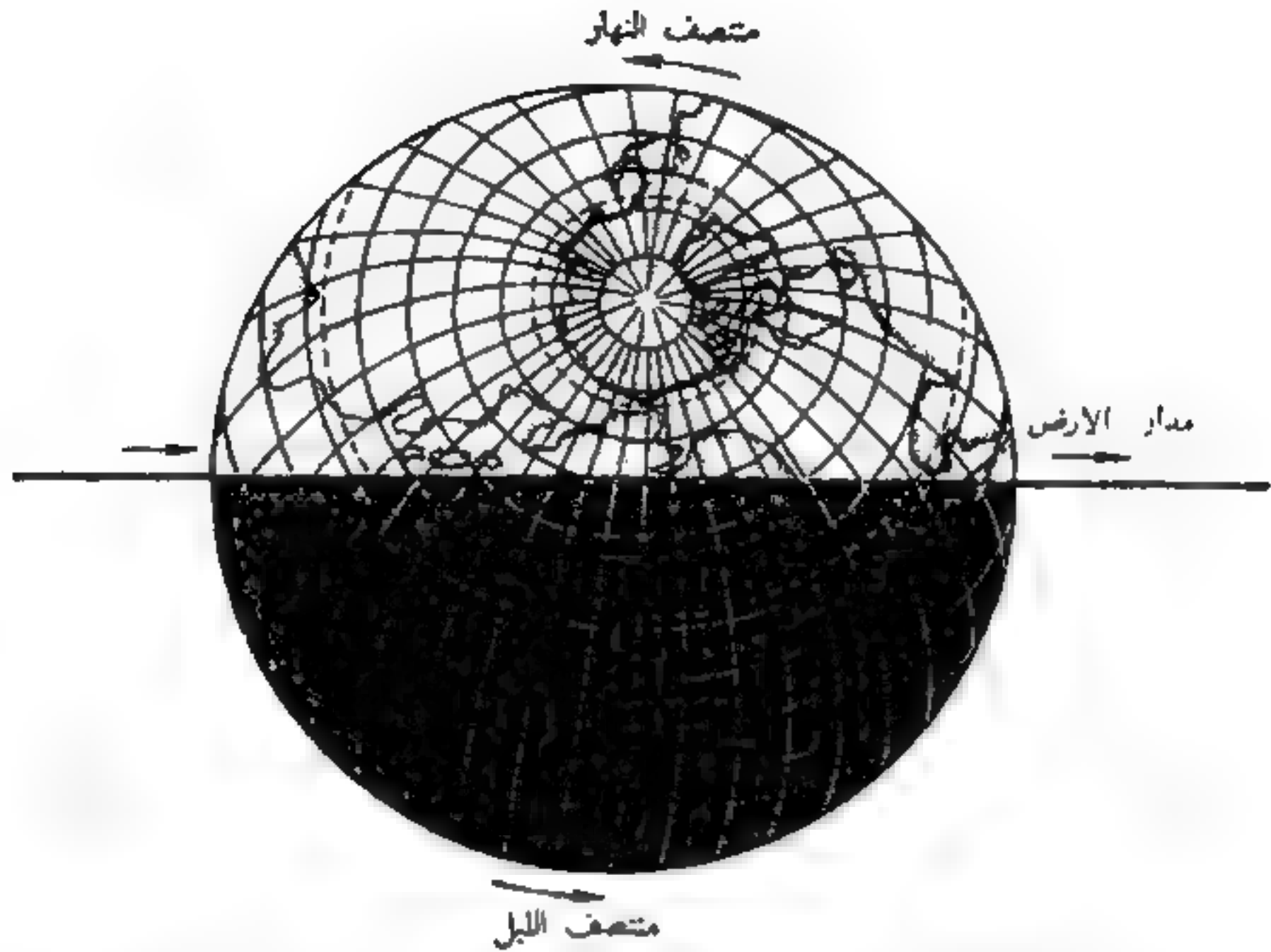
آلة تصوير الحركة البطيئة

حينما كتب ويلز قصته « احدث معجل » ، لم يكن يفكر على الاغلب ، فى ان شيئا من هذا القبيل سيتحقق يوما ما بالفعل . ولكنه على كل حال ، عاش الى ان استطاع ان يرى بأم عينيه — على الشاشة البيضاء فقط — تلك الصور التى ابتكرتها مخيلته فى وقت ما . ان ما يسمى « آلة تصوير الحركة البطيئة » ترينا على الشاشة البيضاء ، بحركة بطيئة ، ظواهر عديدة ، تحدث عادة بسرعة كبيرة .

ان « آلة تصوير الحركة البطيئة » هى عبارة عن آلة تصوير سينمائية ، تلتقط فى الثانية الواحدة ، عددا من الصور ، يزيد كثيرا عن عدد ما تلتقطه آلات التصوير السينمائية العادية ، البالغ ٢٤ صورة . وعندما نصور إحدى الظواهر بهذه الطريقة ، ونعرض الفيلم على الشاشة البيضاء بسرعة عادية (٢٤ صورة فى الثانية) ، نرى ان الظاهرة تستغرق وقتا اكبر من وقتها الطبيعي بكثير . وربما يكون القارئ قد شاهد على الشاشة البيضاء ، بعض القفزات التى تحدث بسلاسة غير طبيعية ، وغير ذلك من الظواهر البطيئة . ويمكن بمساعدة آلات تصوير اكثر تعقيدا ، الحصول على حركات ابطأ بكثير ، تذكرنا تقريبا ، بما جاء فى قصة ويلز .

مق تدور حول الشمس اسرع — نهادا ام ليلا ؟

ظهر على صفحات الجرائد الباريسية ، فى يوم ما ، اعلان يعرض على كل قارئ طريقة للقيام برحلة رخيصة ومريحة ، لا تكلفه اكثر من ٢٥ سنتيما (أى ربع فرنك) . وقد صدق بعض المغفلين ، ذلك الاعلان ، وحولوا المبلغ المطلوب . وبعد ذلك استلم كل منهم رسالة جوائية جاء فيها : « سيدى ، يرجى ان تبقى هادئا فى سريرك ، وتذكر ان الارض تدور . فعند خط العرض ٤٩ — الذى تقع عليه باريس — تقطع سيادتكم فى اليوم الواحد ، اكثر من ٢٥٠٠٠ كم . واذا كنت من عشاق المناظر الجميلة ، ازح ستائر النافذة ، وافتنن بالسماء المرصعة بالنجوم » .



شكل ٦ : عند وجودنا على النصف الممتلئ من الكرة الأرضية ، تكون حركتنا حول الشمس ، أسرع مما هي عليه عند وجودنا على النصف المضاء .

وعندما قدّم المتهم بتدبير هذه الحيلة الى المحكمة ، وسمع الحكم الصادر بحقه ، ودفع الغرامة المستحقة عليه ، وقف وقفة مسرحية وراح يردد كالمتمتصر ، الجملة الشهيرة التي هتف بها غاليليو :

— ومع ذلك ، فإن الأرض تدور !

لقد كان المتهم محقاً ، كما هو معروف ، لان كل من يقطن الكرة الأرضية ، لا « يتجول » بالدوران حول محور الأرض فحسب ، بل تنقله الأرض بسرعة اكبر عند دورانها حول الشمس .

ان الأرض مع كافة قاطنيها ، تقطع في كل ثانية مسافة ٣٠ كم في الفراغ ، وهي في نفس الوقت تدور حول محورها .

ويمكن بهذا الصدد ، طرح السؤال الطريف التالى : متى ندور حول الشمس اسرع - نهارا ام ليلا ؟

انه سؤال محير : فدائما يكون فى احد نصفي الكرة الارضية ، نهار ، وفى النصف الآخر ، ليل ؛ فإى معنى لهذا السؤال ؟ لا معنى له فى الظاهر .

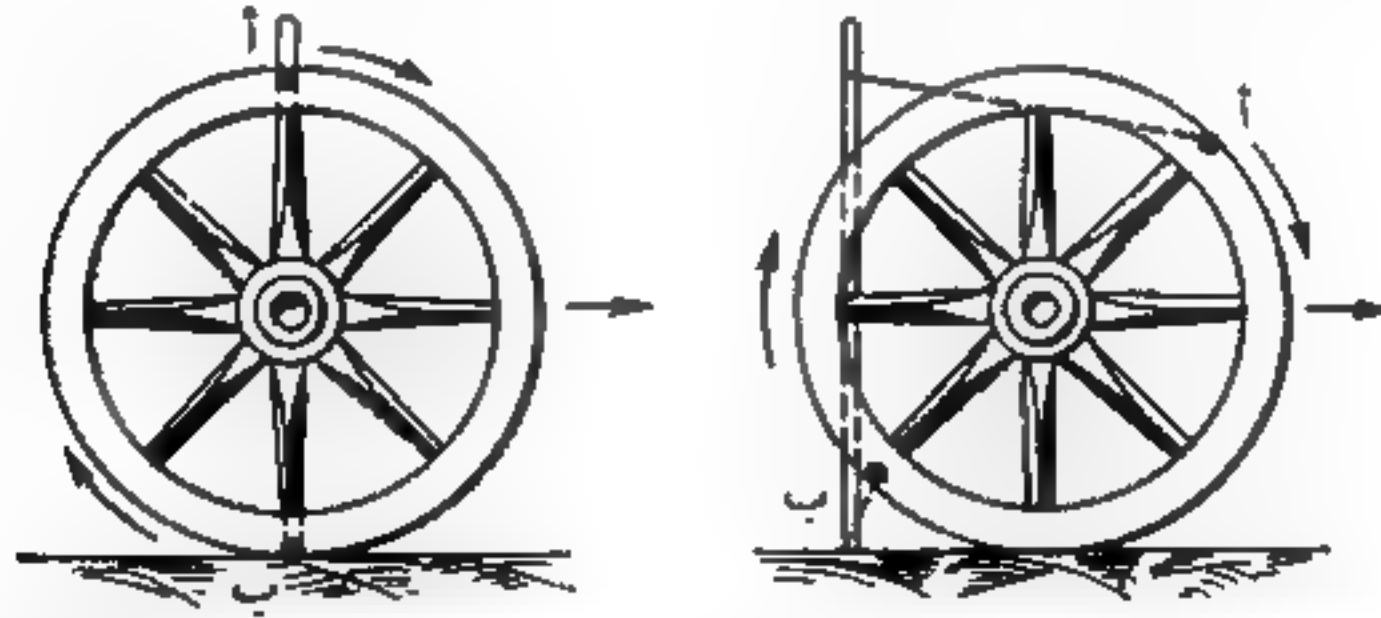
ولكن الامر ليس كذلك . فنحن لا نسأل متى تتحرك الارض برمتها حركة اسرع ، ولكن السؤال هو متى نتحرك نحن الذين نعيش على سطحها ، حركة اسرع وسط الكواكب . وهذا السؤال ليس بدون معنى بتاتا . اننا فى المنظومة الشمسية ، نقوم بحركتين : ندور حول الشمس ، وفى نفس الوقت ندور حول محور الارض . وكلتا الحركتان تجمعان ، الا ان النتيجة تختلف ، تبعا لنصف الكرة الارضية ، الذى تقع عليه ، هل هو النصف المظلم ام هو النصف المضاء بنور الشمس .

واذا نظرت الى الشكل ٦ ، ستعلم ان سرعة الدوران تضاف الى السرعة الانتقالية للارض عند منتصف الليل ، اما عند منتصف النهار ، فعلى العكس ، تطرح سرعة الدوران من السرعة الانتقالية . وهذا يعنى اننا فى المنظومة الشمسية ، نتحرك عند منتصف الليل ، اسرع مما نتحرك عند منتصف النهار . وبما ان نقاط خط الاستواء تقطع فى الثانية الواحدة ، حوالى نصف كيلومتر ، فان الفرق بين السرعة عند منتصف النهار والسرعة عند منتصف الليل ، يصل فى منطقة خط الاستواء الى كيلومتر واحد فى الثانية .

لفز عجلة العربىة

الصق قطعة ورق ملون ، على جانب اطار عجلة العربىة (او عجلة الدراجة الهوائية) ، وتتبع ما يحدث لها عندما تدور العجلة . سترى ظاهرة غريبة : تتميز الورقة الملونة بوضوح عند وقوعها فى القسم السفلى من الاطار الدوار . اما عند وقوعها فى القسم العلوى منه ، فانها تمر بسرعة كبيرة ، حتى لا تكاد العين تميزها .

ويظهر من ذلك ، كأن القسم العلوى من العجلة يتحرك اسرع من القسم السفلى . ويمكن ملاحظة نفس الظاهرة ، اذا قارنا بين البرامق السفلى والبرامق العليا لعجلة دوارة فى عربة ما . وسرى البرامق العليا ، وكأنها مندمجة فى جسم واحد متماسك . اما البرامق السفلى فتبدو بصورة منفردة . لقد تكرر حدوث نفس الشيء بالذات ، كما لو ان القسم العلوى من العجلة يتحرك اسرع من القسم السفلى . اين يكمن اذن لغز هذه الظاهرة الغريبة ؟ ان المسألة بسيطة وليس هناك اى لغز . اذ ان القسم العلوى من العجلة الدوارة ، يتحرك فى الحقيقة ، اسرع من القسم السفلى . ان هذه الحقيقة تبدو للوهلة الاولى مستحيلة . ولكننا نفتتح بها بعد نقاش بسيط . ان كل نقطة من نقاط العجلة الدوارة ، تقوم بحركتين فى وقت واحد : تدور حول المحور ، وفى نفس الوقت تتحرك الى الامام مع ذلك المحور . ان ما يحدث للعجلة هنا ، شبيه بما يحدث للارض ، فعند جمع الحركتين ، تختلف النتيجة فى القسم العلوى للعجلة ، عما هى عليه فى القسم السفلى . ففى اعلى العجلة الدوارة ، تضاف حركة الدوران الى الحركة الانتقالية ، وذلك لانهما فى اتجاه واحد ، اما فى اسفل العجلة الدوارة ، فتكون حركة الدوران ، عكس الحركة الانتقالية . لذا ، فانها تطرح من الاخيرة . ومن هنا يتضح سبب تحرك القسم العلوى للعجلة ، اسرع من القسم السفلى ، بالنسبة للمراقب الذى لا يتحرك .



شكل v اذا قارنا بين بعضى نقطتى العجلة المتحركة أ و ب (الرسم الايمن) عن لعب الكرة ، لاتضح لنا بأن قسم العجلة العلوى يتحرك اسرع من القسم السفلى .

ويتم ادراك هذه الحقيقة بسهولة ، وذلك بتجربة بسيطة يمكن اجراؤها في الوقت المناسب . اغرز عصا في الارض ، بالقرب من عجلة ، بحيث تنتصب العصا مقابل المحور . ثم خذ قطعة من الطباشير او الفحم ، وضع علامتين في اعلى واسفل قسمين من اقسام اطار العجلة ، بحيث تكونان مقابل العصا تماما . والآن ، دحرج العجلة قليلا الى اليمين (شكل ٧) ، بحيث يتعد محورها عن العصا ، بمسافة تتراوح بين ٢٠ و ٣٠ سم ، ولاحظ كيف تغير وضع العلامتين . يتضح ان العلامة العليا أ ، قد قطعت مسافة اكبر ، مما قطعت العلامة السفلى ب ، التي لم تكد تبعد عن العصا الا قليلا .

ابطأ قسم في العجلة

وهكذا ، فان كافة نقاط العجلة الدوارة ، لا تتحرك بسرعة واحدة . اذن ، فاي قسم من اقسام العجلة الدوارة ، يتحرك ابطأ من بقية الاقسام ؟ ليس من الصعب ، ان نتصور ، ان ابطأ النقاط حركة ، هي نقاط العجلة ، التي تكون في لحظة معينة ، ملامسة للارض . وبكلمة ادق ، تكون تلك النقاط عند ملامستها للارض ، ساكنة تماما . ان كل ما ذكرناه آنفا ، ينطبق فقط على العجلة المتدحرجة ، ولا ينطبق على العجلة التي تدور على محور ثابت . مثلا ، في العجلة الحذافة ، تتحرك النقاط العليا والسفلى للاطار بسرعة واحدة .

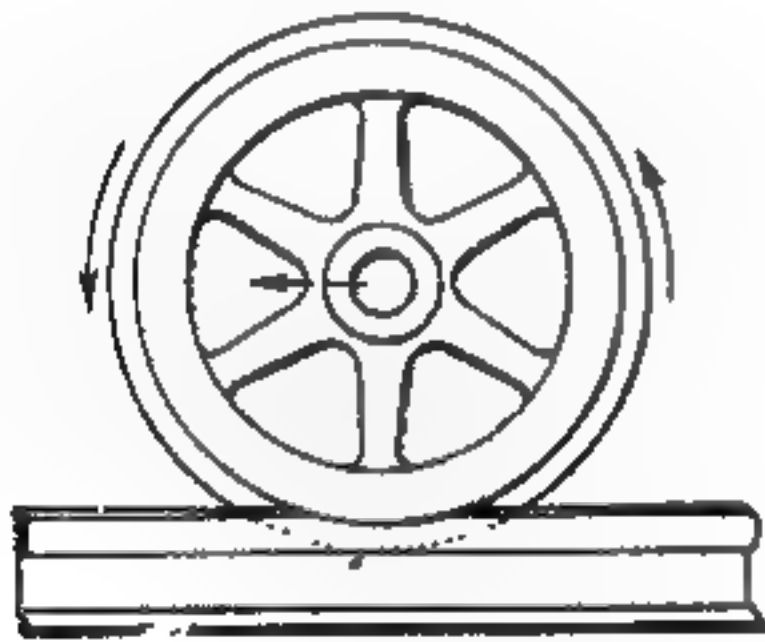
مسألة وليست ثكته

لنبحث الآن مسألة ، لا تقل طرافة عن سابقتها : هل توجد في القطار الذهاب من لينينغراد الى موسكو مثلا ، نقاط . تتحرك عكسيا بالنسبة للسكة الحديدية ، اي من موسكو الى لينينغراد ؟
يظهر ان مثل هذه النقاط موجودة دائما ، على كل عجلة من عجلات القطار . ولكن اين تقع هذه النقاط ؟

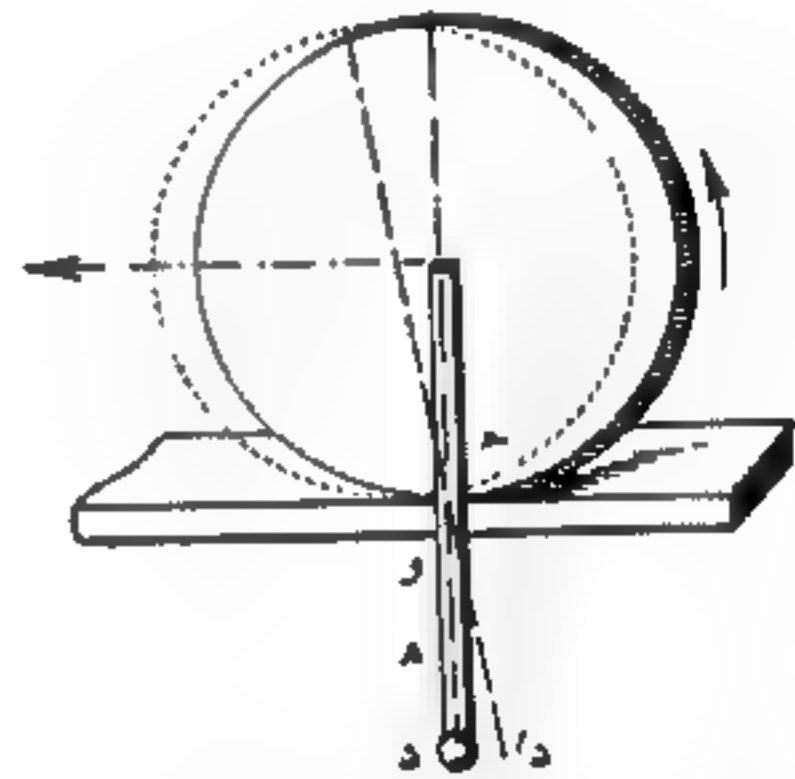
من البديهي ان لعجلة القطار حطارا بارزا (شفة الاطار الخارجى) ، والظاهر ان النقاط السفلى لهذا الحطار البارز ، لا تتحرك بنفس اتجاه حركة القطار ، بل بعكسها تماما . ويمكن التأكد من ذلك ، باجراء التجربة التالية : الصق بواسطة الشمع عود ثقاب بقرص صغير ، مثلا ، بقطعة نقدية او بزّر من ازرار الملابس ، بحيث ينطبق العود على نصف قطر القرص ، ويبرز عن حافته كثيرا . والآن اذا جعلنا القرص (شكل ٨) يرتكز على حافة مسطرة ، فى النقطة ج ، وبدأنا بدحرجة القرص من اليمين الى اليسار ، نرى ان نقاط القسم البارز من العود ، وهى و ، هـ ، د ، لا تتحرك الى الامام ، بل الى الوراء . وكلما كانت النقطة بعيدة عن حافة القرص ، كلما كانت حركتها الى الوراء اوضح ، عند دحرجة القرص (تتحول نقطة د الى د') .

ان نقاط الحطار البارز لعجلة القطار ، تتحرك مثلما يتحرك القسم البارز من عود الثقاب فى تجربتنا هذه .

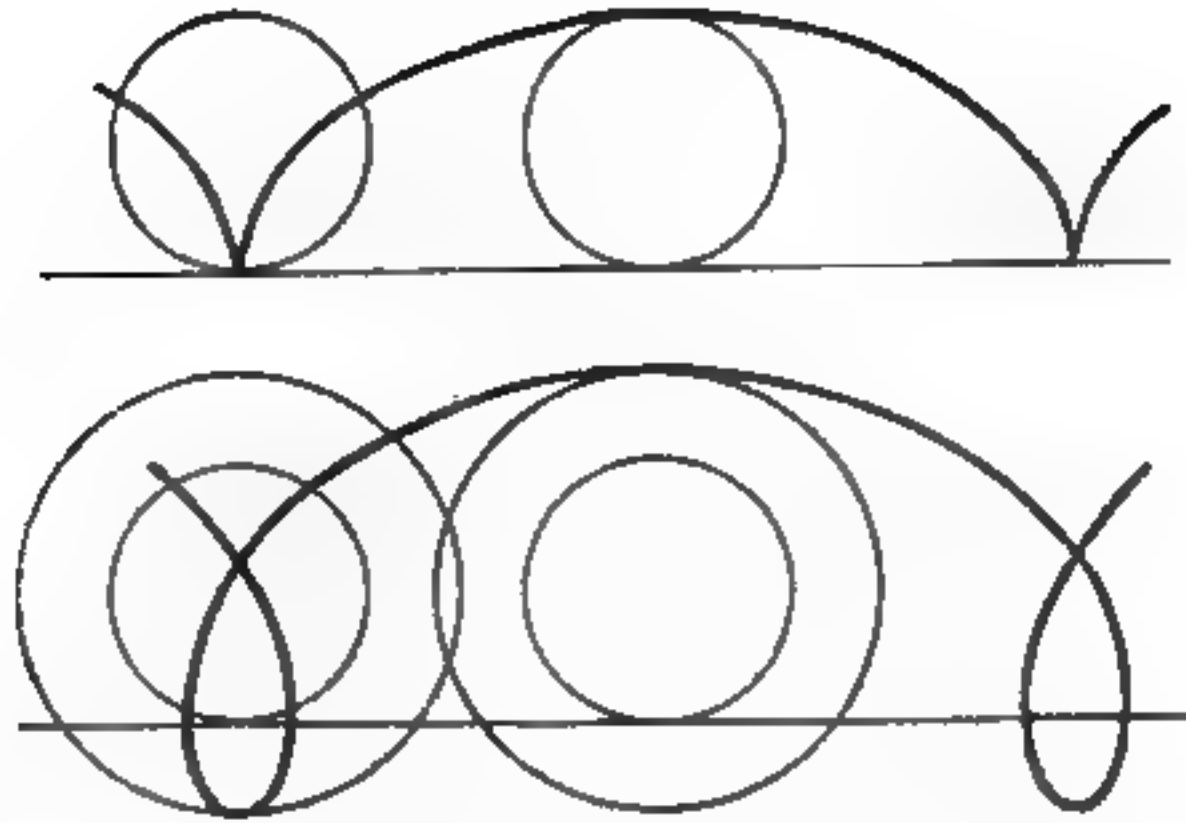
اذن ، سوف لا يشير دهشتكم الآن ، احتواء القطار على نقاط تتحرك عكس حركته .



شكل ٩ : عندما تتحرك عجلة القطار الى اليسار ، يتحرك القسم السفلى لاطارها الى اليمين ، أى فى الاتجاه المعاكس .



شكل ٨ : تجربة القرص وعود الثقاب . عندما يتدحرج القرص نحو اليسار ، تتحرك نقط الجزء البارز من العود و ، هـ ، د فى الاتجاه المعاكس .



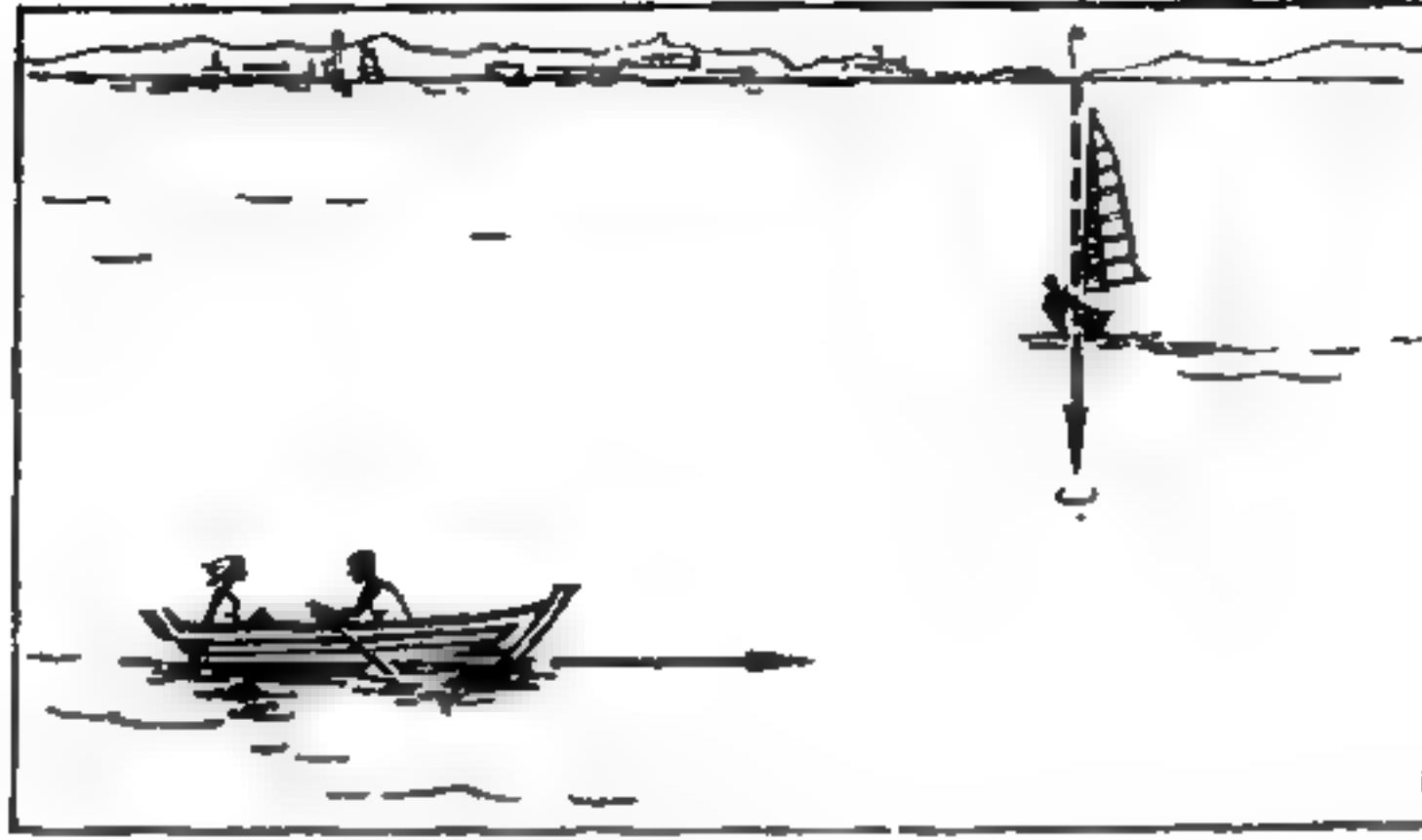
شكل ١٠ : يبين الرسم العلوى ، ذلك للمنحنى الذى ترسمه كل نقطة من نقاط اطار عجلة العربة المتحركة .
ويبين الرسم السفلى ، المنحنى الذى ترسمه كل نقطة من نقاط اطار عجلة انقطاع .

وفى الحقيقة ، ان هذه الحركة لا تستغرق سوى جزءا مهما من الثانية ، ولكن على اى حال ، فان الحركة المعاكسة لسير العطار . موجودة ، على الرغم من تصوراتنا العادية . والشكلان ٩ و ١٠ يوضحان ذلك .

من اى اتجاه اتى القارب

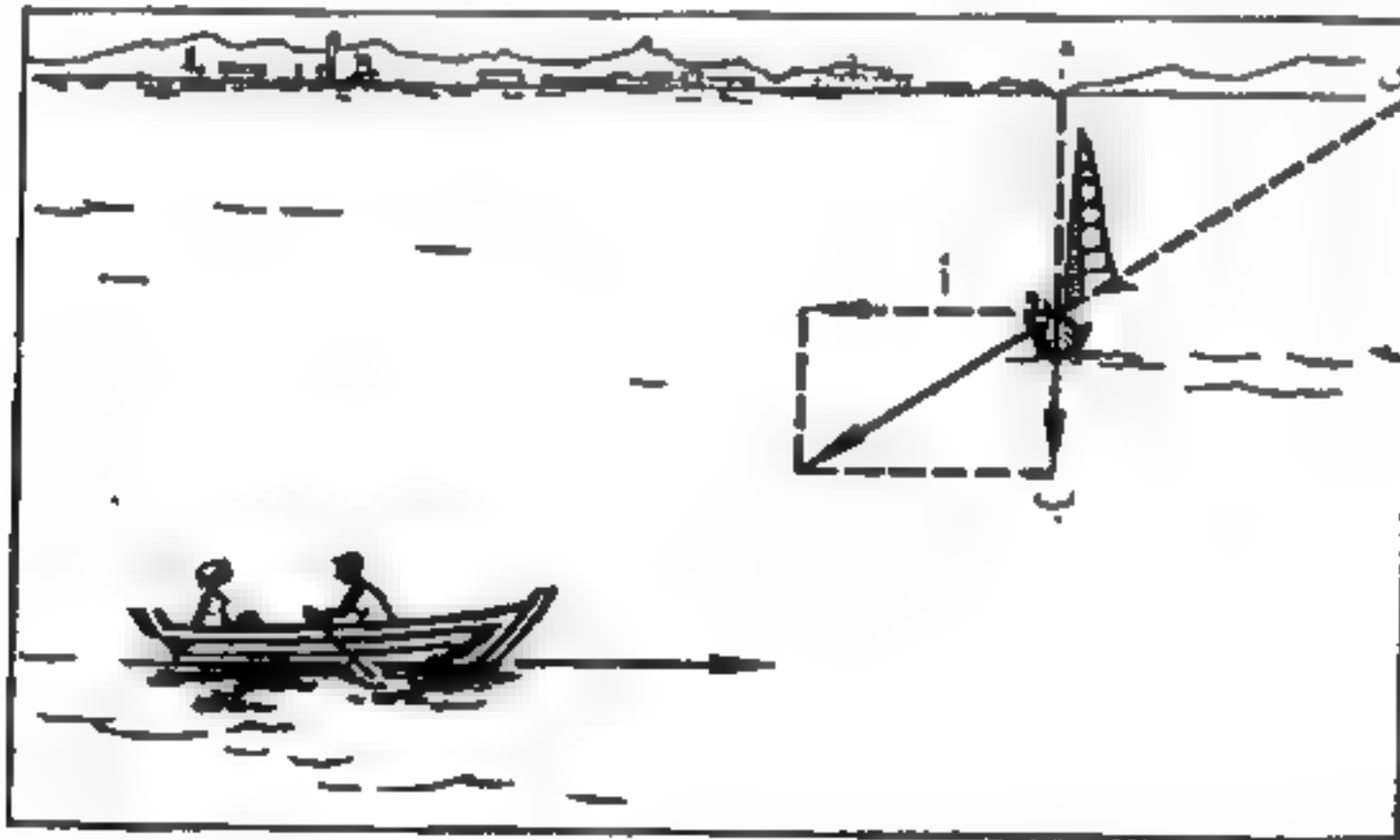
تصور ان قارب تجديف معين يطفو على سطح بحيرة ، بحيث يمثل السهم أ (شكل ١١) اتجاه وسرعة حركة القارب . وهناك قارب شراعى يسير باتجاه يقطع اتجاه قارب التجديف ، ويمثل السهم ب اتجاه وسرعة القارب الشراعى . فاذا سئل القارى من اية جهة اتى القارب الشراعى ، لأشار فى الحال الى النقطة م ، الواقعة على الشاطئ . واذا سئل راكب القارب الشراعى ، نفس السؤال ، لأشار الى نقطة اخرى تماما . فلماذا ؟

ان السبب فى ذلك ، هو ان الراكب لا يرى ان القارب يشكل عند سيره زاوية قائمة ، مع العمر المقرر ان يسلكه . ان الراكب ، لا يشعر طبعا بحركته الذاتية : اذ



شكل ١١ : ان طريق القارب الشراعى يقطع طريق قارب التجديف . ويشير كل من السهم أ وب الى سرعتى القاربين . ما الذى سيراه المجدفون ؟

يبدو له ، انه واقف فى مكانه ، بينما تتحرك الاشياء المحيطة به ، بنفس سرعة حركته الذاتية ، ولكن فى الاتجاه المعاكس . لذلك ، يبدو له ان القارب الشراعى لا يتحرك فى اتجاه السهم ب ، فقط ، بل كذلك فى اتجاه الخط المنقطع أ ، عكس حركة قارب



شكل ١٢ : سوف يظن المجدفون بأن طريق القارب الشراعى لا يتقاطع مع طريقهم ، بل ينحرف عنه ، كما لو كان القارب الشراعى قادما من النقطة ن لا من النقطة م .

التجديف (شكل ١٢) . ان هاتين الحركتين - الحقيقية والظاهرة - تجمعان حسب قاعدة متوازي الاضلاع . ونتيجة لذلك ، يبدو لراكب قارب التجديف ، وكأن القارب الشراعى يتحرك على القطر المتوازي الاضلاع ، المرسوم من المستقيمين أ و ب . ولهذا السبب ايضا ، يبدو للراكب ان القارب الشراعى لم يبدأ مسيره من النقطة م ، الواقعة على الشاطئ ، لكنه بدأ المسير من نقطة اخرى ، هي النقطة ن ، الواقعة بعيدا الى الامام ، باتجاه حركة القارب الشراعى (شكل ١٢) .

وعند دوراننا مع الارض حول مدارها ، ورويتنا لضياء الكواكب ، فاننا نحدد مصدر الضياء بصورة غير صحيحة ايضا ، كما يحدد راكب قارب التجديف ، النقطة التى اتجه منها القارب الشراعى . ولذلك تبدو لنا الكواكب ، وكأنها قد ازيحت قليلا الى الامام ، باتجاه حركة الارض المدارية . وبالطبع ، فان سرعة دوران الارض ، ذات قيمة مهملة ، بالمقارنة مع سرعة الضوء (اقل من سرعة الضوء بعشرة آلاف مرة) ، لذلك تكون الازاحة الظاهرة للكواكب ، قليلة جدا . لكننا نستطيع تحديدها بواسطة الاجهزة الفلكية . وتسمى هذه الظاهرة بزّيغان الضوء .

واذا كان القارئ مهتما بمثل هذه المسائل ، فليحاول الاجابة على السؤالين التاليين ، المتعلقين بمسألة القارب :

- ١ - باى اتجاه يسير قارب التجديف ، من وجهة نظر راكب القارب الشراعى ؟
 - ٢ - الى اين يتجه قارب التجديف ، كما يتراءى لراكب القارب الشراعى ؟
- للاجابة على هذين السؤالين ، يجب على القارئ ان يرسم من المستقيم أ (شكل - ١٢) متوازي اضلاع السرعة . عندئذ سيبين قطر متوازي الاضلاع هذا ، انه يبدو من وجهة نظر راكب القارب الشراعى ، ان قارب التجديف يسير فى اتجاه مائل ، وكأنه يتهيأ للرسو على الشاطئ .

حاول ان تنهض !

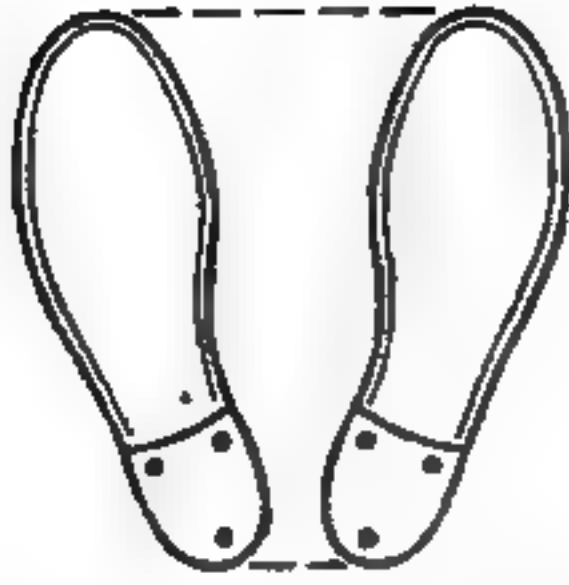
ستظن اننى امزح معك ، اذا قلت لك : ساجلسك على الكرسي ، بحيث لا تستطيع النهوض بعد ذلك ، علما باننى لن اربطك اليه .

حسنا ، اجلس كما يجلس الفتى الظاهر فى الشكل ١٣ ، اى بصورة معتدلة ، دون ان تدفع قدميك تحت الكرسي . والآن ، حاول ان تنهض ، مع المحافظة على وضع القدمين وعدم الانحناء الى الامام . انك لن تستطيع النهوض مهما بذلت من قوة عضلية ، ما لم تدفع قدميك تحت الكرسي ، او تحنى جذعك الى الامام .

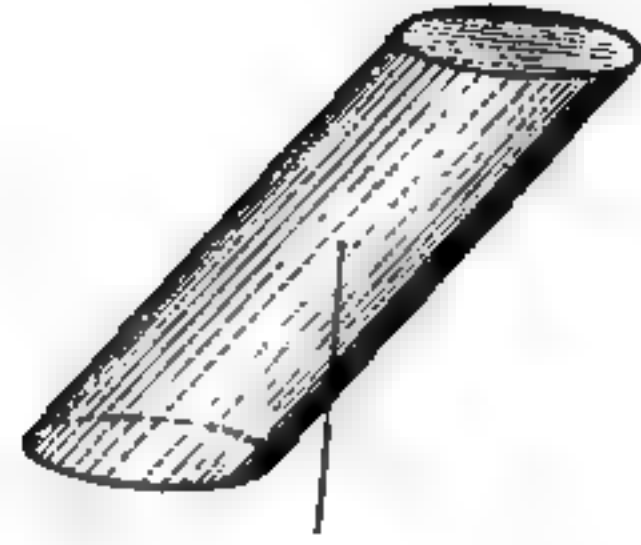


شكل ١٣ : لا يستطيع الشخص الجالس بهذه الطريقة ، ان ينهض على قدميه .

ولكى تدرك سبب ذلك ، دعنى احدثك بعض الشيء عن توازن الاجسام بصورة عامة ، وتوازن جسم الانسان بصورة خاصة . ان الجسم المنتصب لا ينقلب على الارض بتاتا ، اذا كان الخط العمودى النازل من مركز ثقله ، مارا بقاعدته . ولذلك ، فان الاسطوانة (شكل ١٤) لا بد وان تنقلب ؛ الا اذا كانت مساحة قاعدتها اكبر ، بحيث يمر من خلالها الخط العمودى النازل من مركز ثقل الاسطوانة . ان برجى بيزا وبولون المائلين ، او حتى برج الجرس المائل ، فى مدينة ارنجانجلك



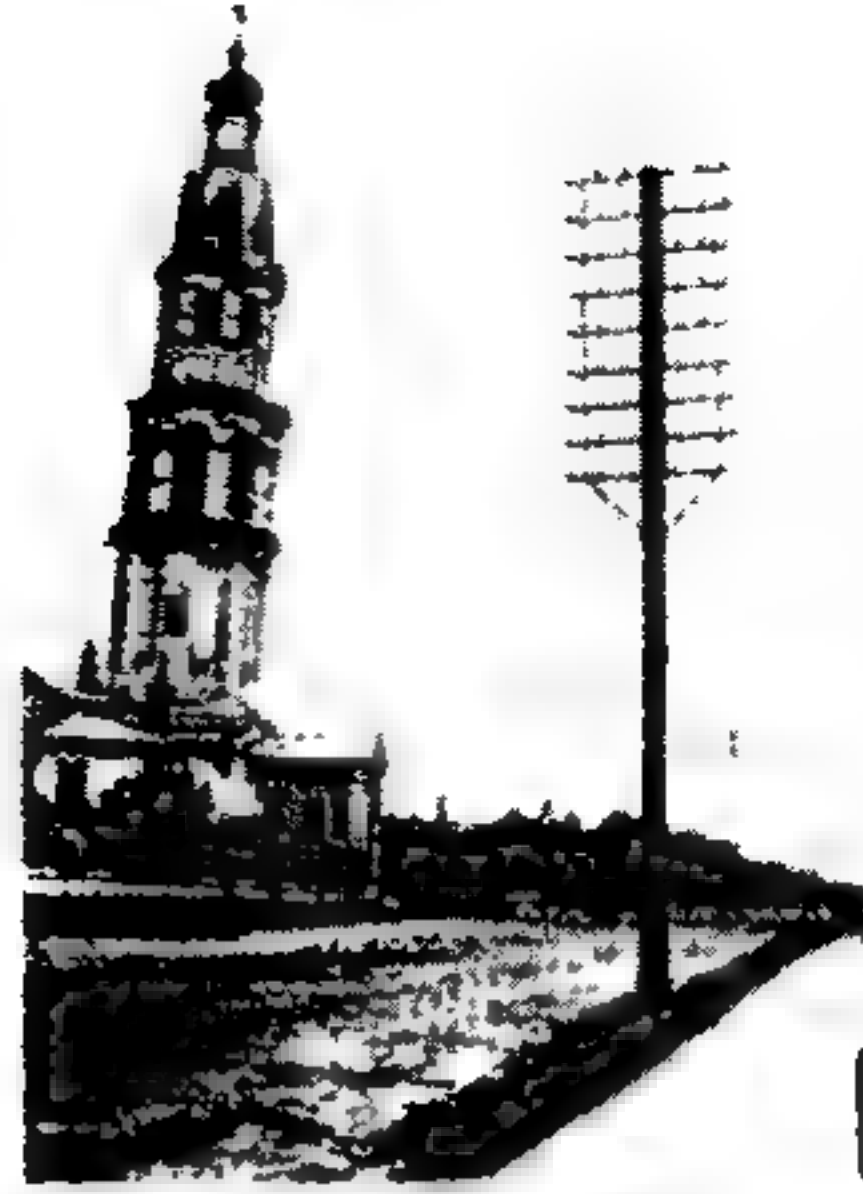
شكل ١٦ : عندما يكون الشخص واقفاً ، فإن الخط العمودي النازل من مركز ثقله ، يمر ضمن المساحة المحيطة بالحافات الخارجية لقدميه .



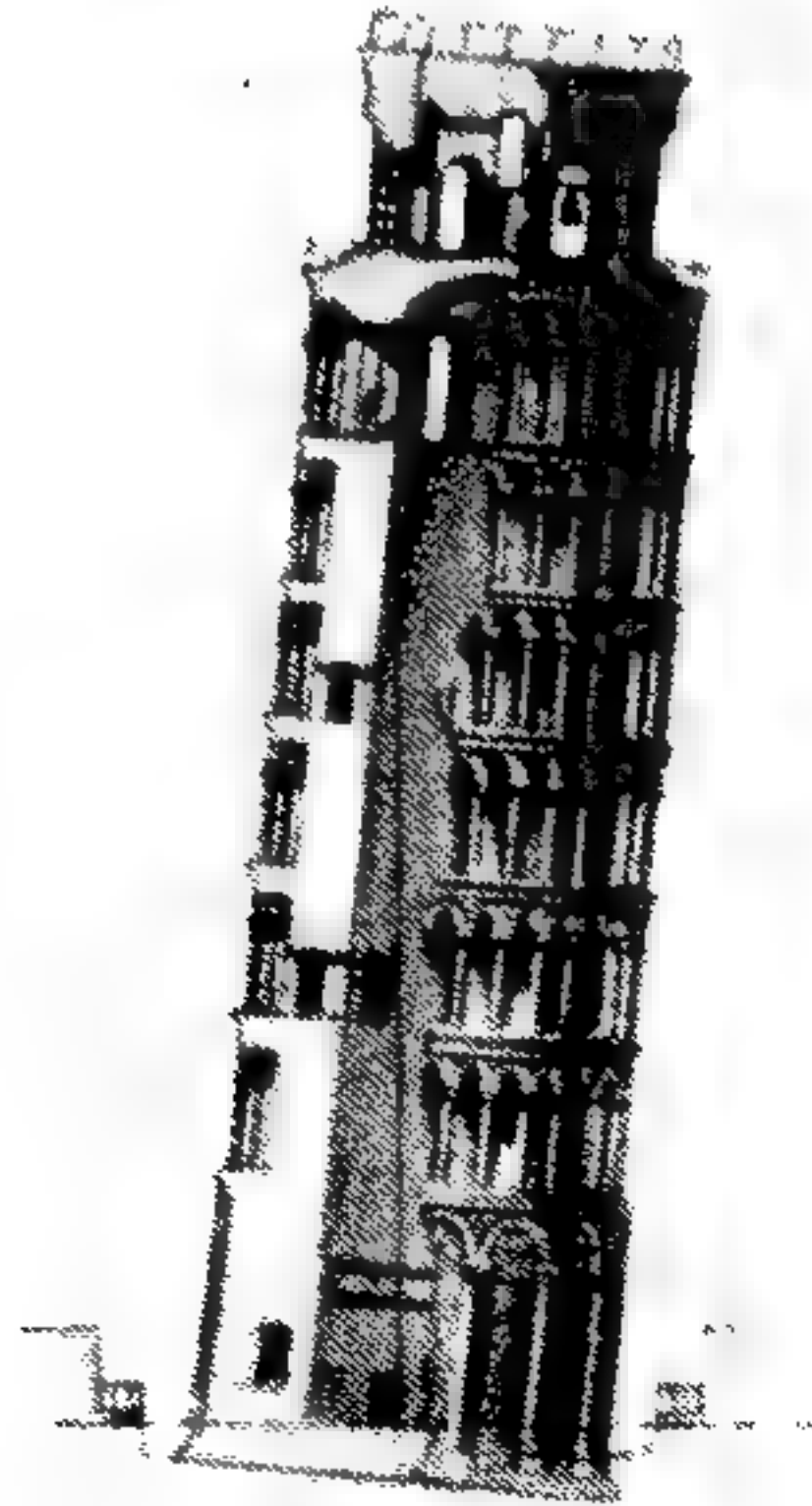
شكل ١٤ : ان هذه الاسطوانة يجب ان تتقلب على الارض ، لان الخط العمودي النازل من مركز ثقلها ، لا يمر بقاعدتها .

السوفييتية (شكل ١٥) لا تتقلب بالرغم من ميلانها ، لنفس السبب ايضا . وهو عدم خروج الخط العمودي النازل من مركز ثقلها ، عن حدود القاعدة (وهناك سبب آخر ثانوي ، هو صمق اسس تلك الابراج .

والشخص الواقف ، لا يقع على الارض ، الى ان يخرج الخط العمودي النازل من مركز ثقله ، عن المساحة المحيطة بالحافات الخارجية لقدميه (شكل ١٦) . لذلك ، فمن الصعب الوقوف على قدم واحدة ؛ ومن الاصعب كثيرا ، الوقوف على الحبل لان القاعدة تكون صغيرة جدا ، ويمكن بسهولة ان يخرج الخط العمودي عن حدودها . هل لاحظت المشية الغريبة « لذئاب البحر » المتقدمة في العمر ؟ ان البحارة ، وهم يقضون حياتهم على ظهر سفينة متأرجحة ، حيث يتعرض الخط العمودي النازل من مركز ثقل الجسم ، في كل لحظة ، للخروج عن الفسحة التي تشغلها القدمان ، يتعودون على السير ، بحيث تشغل قاعدة الجسم (اي الساقان المتباعدتان) ، اكبر فسحة ممكنة . وهذا يساعد البحارة على الوقوف بثبات على السطح المتأرجح . ومن الطبيعي ان يحتفظ البحارة بهذه العادة ، حتى عندما يسرون على اليابسة . ويمكن كذلك ، ان تأتي بمثال عكسي ، هو انه تنجم عن ضرورة محافظة الانسان على توازنه ، وضعية



شكل ١٥ : برج ارخانجلسك المائل (فى الاعلى)
وبرج بيزا المائل (فى الاسفل)



جميلة . هل لفت نظرك ، ذلك المنظر الغريب ، للشخص الذى يحمل على رأسه حملاً؟
عندما يحمل الشخص حملاً على رأسه ، يضطر الى نصب رأسه وقامته ، لان اقل انحراف ،
يهدد بخروج مركز الثقل (الذى يكون فى هذه الحالة اكثر ارتفاعاً ، مما هو عليه
فى الوضع الطبيعى) عن محيط القاعدة ، وعندئذ سيختل توازن الجسم .

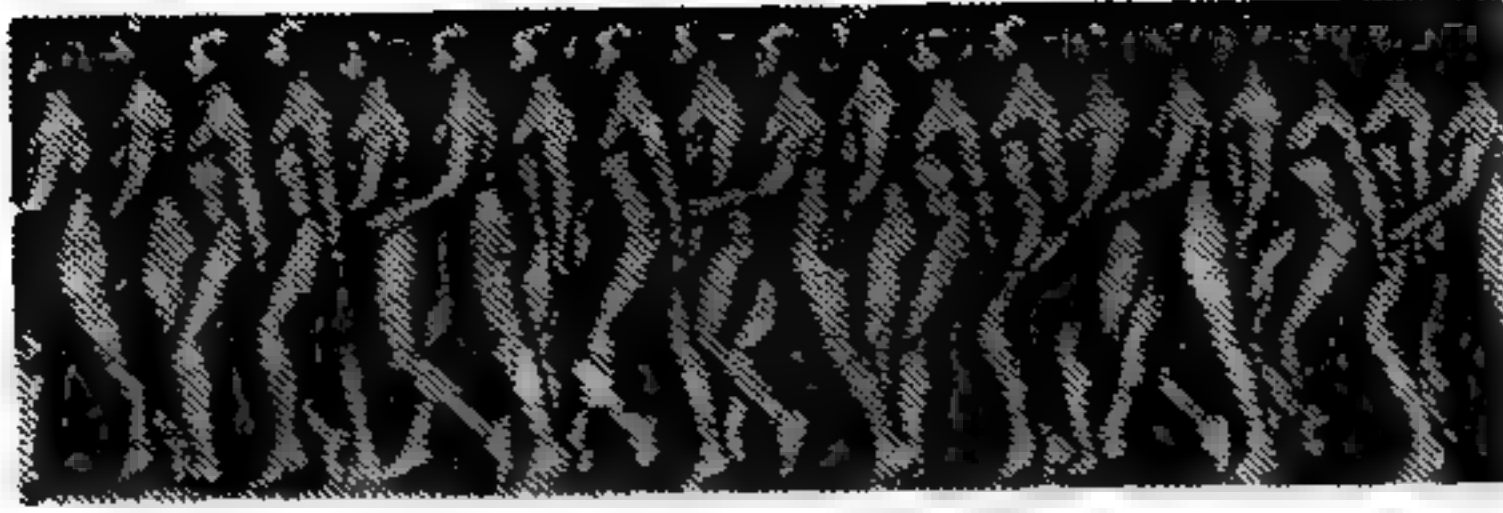
والآن نعود الى تجربة نهوض الشخص الجالس . ان مركز ثقل جذع الشخص
الجالس ، يقع داخل الجسم ، قرب العمود الفقرى ، على ارتفاع ٢٠ سم عن مستوى
السرة . نرسم من هذه النقطة خطاً عمودياً الى الاسفل ، فنرى ان هذا الخط يمر تحت
الكرسى فيما وراء القدمين . ولكى يستطيع الانسان النهوض ، يجب ان يمر ذلك الخط
العمودى ، بين القدمين .

وهذا يعنى ، اننا عند نهوضنا ، يجب علينا اما ان ندفع بصدورنا الى الامام ،
فتزيج بذلك مركز الثقل ، او ان نحرك ارجلنا الى الوراء ، لكى نجعل القاعدة تقع تحت
مركز الثقل . ونحن نفعل ذلك عادة ، عندما نهض من الكرسى . ولكن اذا لم يسمح لنا
ان نفعل هذا او ذاك ، فسيكون النهوض متعذراً ، كما يتضح من التجربة المذكورة .

المشى والركض

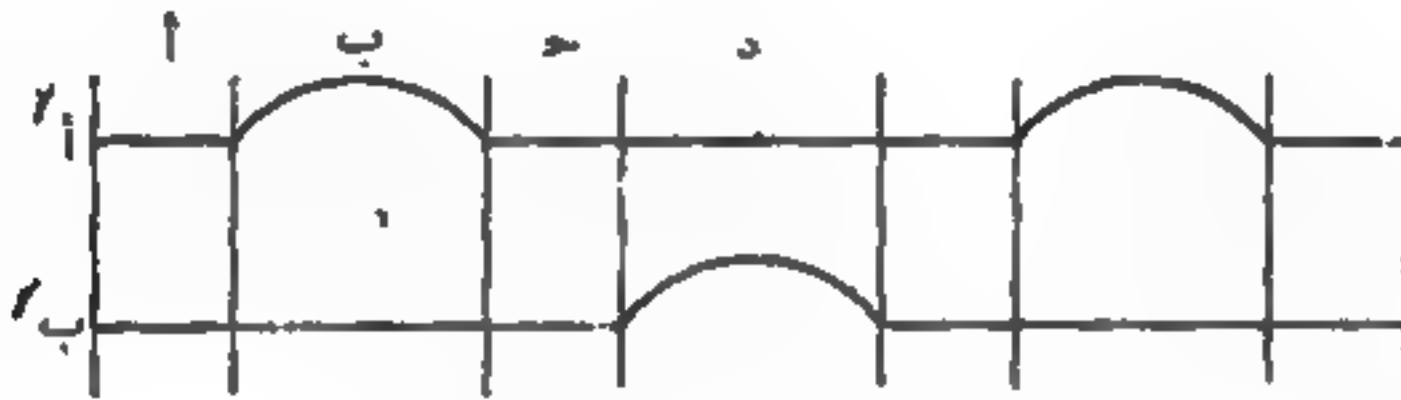
ان الشيء الذى تقوم به عشرات الالوف من المرات فى اليوم خلال حياتك ،
يجب ان يكون معروفاً لديك معرفة تامة . هذا امر متعارف عليه ، ولكنه ليس بالامر
الصائب على الدوام . ونخير مثال على ذلك - المشى والركض . هل هناك شيء ما ، اكثر
معرفة لدينا من هاتين الحركتين ؟ وهل يوجد كثير من الناس الذين يتصورون بوضوح ،
كيف نحرك جسمنا عند المشى والركض ، وما هو تفسير هذين النوعين من الحركة ؟
لنسمع الآن ما تقوله الفسيولوجيا * عن المشى والركض . وانا واثق من ان الحديث ،
سيكون جديداً تماماً بالنسبة لمعظم القراء .

* ان الحديث هنا مقتطف من كتاب « محاضرات فى علم الحيوان » للبروفيسور بول بير . اما الرسوم
الايضاحية الملحقة ، فمن وضع المؤلف .



شكل ١٧ : طريقة مشي الانسان . الاوضاع المتعاقبة للجسم اثناء المشي .

« لنفرض ان شخصا يقف على رجل واحدة ، ولتكن الرجل اليمنى على سبيل المثال . ولنتصور انه يرفع عقبه (كعبه) ، ويحني جذعه الى الامام في نفس الوقت * .



شكل ١٨ : رسم تخطيطي لحركات القدمين اثناء المشي . الخط العلوي ('أ') يمثل القدم اليسرى ، والخط السفلي ('ب') يمثل القدم اليمنى . والمخطوط المستقيمة تشير الى حالات ارتكاز القدم على الارض ، اما المخطوط المنحنية فتشير الى حالات تحرك القدم في الهواء . ويتضح من الرسم التخطيطي ، ان كلتا القدمين ترتكزان على الارض خلال الفاصلة الزمنية 'أ' ، وخلال الفاصلة الزمنية 'ب' تتحرك القدم 'أ' في الهواء ، وتبقى القدم 'ب' على الارض ، وخلال الفاصلة الزمنية 'ج' تعود القدمان الى الارتكاز على الارض ثانية . وبازدياد سرعة المشي تقل الفاصلتان الزمنيتان 'أ' و 'ب' (قانون هذا الرسم التخطيطي مع الرسم التخطيطي لحركات القدمين اثناء الركض ، المبين في الشكل ٢٠) .

وفي مثل هذا الوضع ، يصبح من المفهوم ان الخط العمودي النازل من مركز الثقل ، سيخرج عن مساحة قاعدة الارتكاز ، ويجب ان يقع الشخص اماما على الارض .

* عند القيام بذلك ، يدفع الشخص الماشي نفسه ، مبتعدا عن موضع الارتكاز ، ويولد في ذلك الموضع ضغطا قدره ٢٠ كجم ، يضاف الى وزن الجسم . ومن هنا ، بهذه المناسبة ، ينتج أن الشخص الماشي ، يضغط على الارض بقوة ، اكبر من تلك التي يضغط بها الشخص الواقف - المؤلف .



شكل ١٩ . طريقة ركض الانسان . الاوضاع المتعاقبة للجسم اثناء الركض (هناك لحظات معينة ، تكون فيها كنتا القدمين مرتفعتان في الهواء) .

ولكن ما ان يبدأ الشخص بالوقوع ، حتى تتحرك رجله اليسرى المعلقة في الهواء ، حركة سريعة الى الامام لتستقر على الارض ، اما العمود النازل من مركز الثقل ، بحيث يقع ذلك العمود ، ضمن المساحة التي تشكلها الخطوط الواصلة بين نقاط ارتكاز القدمين . وبهذا الشكل ، يعود التوازن ، ويكون الشخص قد خطا خطوة واحدة الى الامام . ويستطيع الشخص ان يبقى على هذا الوضع المتعب بما فيه الكفاية . ولكنه اذا اراد الاستمرار في المشي ، فسيحني جسمه اكثر الى الامام ، حتى يخرج العمود النازل من مركز الثقل عن حدود مساحة الارتكاز . وفي اللحظة التي يشرف فيها على الوقوع ، يحرك رجله الى الامام مرة اخرى . وفي هذه الحالة ، فانه لا يحرك الرجل اليسرى ، بل اليمنى — خطوة جديدة و هلم جرا . ولذلك ، فان المشي ، ما هو الا سقطات متتابعة



شكل ٢٠ : رسم تخطيطي لحركات القدمين اثناء الركض (قارن هذا الرسم التخطيطي مع الرسم المس في شكل ١٨) . بتفصيح من الرسم التخطيطي ان هناك لحظات معينة (ب ، د ، هـ ، ز) ، تكون فيها كلت قدمي الانسان الراكض ، مرتفعتان في الهواء . وهذا ما يجز الركض عن المشي .

الى الامام ، يتم تلافيها في الحين ، بتحريك الرجل المرفوعة الى الامام ، وتثبيتها على الارض .

لنبحث المسألة عن كُتب . نفرض ان الخطوة الاولى قد تمت . في هذه اللحظة ، كانت القدم اليمنى ما زالت ملامسة للارض . اما القدم اليسرى فقد وطئت الارض . ولكن اذا لم تكن الخطوة قصيرة جدا ، لكان من المحتمل ان يرتفع العقب الايمن ، وذلك لان ارتفاع العقب بالخصوص ، يساعد الجسم على الانحناء الى الامام ، فيفقد التوازن . ان اول ما يطأ الارض ، هو عقب القدم اليسرى . وبعد ذلك عندما يستقر القدم برمته على الارض ، ترتفع القدم اليمنى عن الارض تماما . وفي نفس الوقت ، فان الرجل اليسرى ، المنحنية قليلا عند الركبة ، تأخذ بالاستقامة نتيجة لتقلص عضلة مؤخرة الفخذ ، وتصبح عمودية لبرهة وجيزة . وهذا يسمح للرجل اليمنى نصف المنحنية ، بالتحرك الى الامام دون ان تلامس الارض . وبعد ان يتحرك الجسم ، تطأ الرجل اليمنى الارض بعقبها ، في الوقت الذي تبدأ فيه الخطوة التالية بالضبط .

اما الرجل اليسرى ، التي تكون في ذلك الحين ملامسة للارض باصابع القدم فقط ، والتي يجب ان ترتفع عن الارض باسرع وقت ، فتمر بسلسلة مماثلة من الحركات . ويتميز الركض عن المشي ، بان الرجل الواقفة على الارض تمتد بقوة نتيجة للتقلص الفجائي لعضلاتها ، فتدفع الجسم الى الامام بحيث يصبح لبرهة وجيزة منفصلا عن الارض تماما . ثم يهبط الجسم على الارض مرة ثانية ، على الرجل الاخرى ، التي تحركت بسرعة الى الامام ، في فترة وجود الجسم في الهواء . وبهذا الشكل ، يكون الركض عبارة عن سلسلة من القفزات من قدم الى اخرى .

اما فيما يتعلق بالطاقة التي يبذلها الشخص عندما يمشي على طريق افقى . فانها لا تساوى صفرا ، كما يتصور البعض . ان مركز ثقل جسم الشخص الماشي ، يرتفع عند كل خطوة ، بعدة سنتيمترات . وتبين الحسابات ، ان الشغل المبذول اثناء المشي على طريق افقى ، يساوى تقريبا $\frac{1}{10}$ من الشغل اللازم لرفع جسم الشخص الماشي ، الى مسافة تساوى طول الطريق المقطوع .

كيف يجب القفز من عربة متحركة

إذا طرحنا هذا السؤال على شخص ما ، فسيكون جوابه بالطبع « إلى الامام باتجاه الحركة ، طبقا لقانون القصور الذاتى » . ولكن لنطلب منه ان يشرح بالتفصيل ، دور قانون القصور الذاتى فى هذه المسألة . يمكن عندئذ التنبؤ بحدوث ما يلى : سيبدأ محدثنا بإثبات رأيه بكل ثقة . ولكننا اذا لم نقطعه ، فسيقع بعد قليل فى حالة من الحيرة والارتباك . اذ ينتج انه من جراء القصور الذاتى بالضبط ، يجب القفز بالعكس تماما - الى الوراء بعكس اتجاه الحركة .

وفى الواقع ، فان قانون القصور الذاتى يلعب هنا دورا ثانويا - هناك سبب رئيسى يختلف عن ذلك تماما . فاذا تجاهلنا ذلك السبب الرئيسى ، لتوصلنا فى الحقيقة ، الى انه يجب القفز الى الوراء ، لا الى الامام مطلقا .

لنفرض انه وجب علينا القفز من عربة متحركة . ماذا يحدث عند ذلك ؟

عندما نقفز من عربة متحركة ، فان جسمنا المنفصل عن العربة ، يكتسب سرعة العربة (يتحرك بموجب القصور الذاتى) ويحاول ان يتحرك الى الامام . وعندما نقفز الى الامام ، فاننا بالطبع ، لا نجعل هذه السرعة تتضاءل ، ولكننا على العكس ، نجعلها تزداد اكثر .

وينتج من ذلك ، انه كان يجب علينا ان نقفز الى الوراء ، لا الى الامام باتجاه حركة العربة . وعند القفز الى الوراء ، نطرح سرعة القفزة من السرعة التى يتحرك بها الجسم بموجب القصور الذاتى ، ونتيجة لذلك ، فعندما يلامس جسمنا الارض ، فانه سيحاول الوقوع عليها بأقل قوة دافعة .

ولكننا اذا اردنا القفز من عربة متحركة ، فسنقفز جميعا الى الامام ، باتجاه الحركة . وهذه فى الحقيقة احسن طريقة للقفز ، وهى مضمونة لدرجة تجعلنا نحلر البقاء تحذيرا شديدا ، من محاولة تجريب القفز الحرج الى الوراء من عربة متحركة . اذن ، اين يكمن السبب ؟

يتلخص الامر في عدم دقة الايضاح ، وفي التحفظ الذي فيه . فاذا ما قفزنا الى الامام او الى الوراء ، فانتا في كلتا الحالتين ستعرض لخطر الوقوع ، وذلك لأن القسم العلوى من جسمنا سيستمر في الحركة ، في الوقت الذي تتوقف فيه الرجلان عند ملامستهما للارض . وتكون سرعة هذه الحركة عند القفز الى الامام ، اكبر مما هي عليه عند القفز الى الوراء . والامر الذي له اهمية جوهرية في هذا الصدد ، هو ان الوقوع الى الامام ، اكثر امانا بكثير ، من الوقوع الى الوراء . ففي الحالة الاولى ، نمد رجلينا الى الامام بحركة اعتيادية (وعند اندفاع العربة بسرعة كبيرة - نخطو عدة خطوات) وبذلك نتحاشى الوقوع . ان هذه الحركة هي حركة اعتيادية ، وذلك لاننا نقوم بها طوال حياتنا ، كلما مشينا : اذ انه من وجهة نظر الميكانيكا ، كما تبين لنا من الموضوع السابق ، يعرف المشى بأنه عبارة عن سقطات متتابعة الى الامام ، ليس الا ، يتم تداركها بمد الرجل الى الامام . اما عند الوقوع الى الوراء ، فلا نستطيع القيام بهذه الحركة المنقذة ، وبذلك يكون الخطر هنا اكبر كثيرا . واخيرا من المهم ادراكه ايضا ، انه عندما نقع الى الامام فعلا ، ونمد ايدينا ، نصاب برضوض اخف كثيرا ، من تلك التي نصيبنا فيما لو وقعنا على ظهرنا .

وهكذا ، فان السبب في ان القفز الى الامام من عربة متحركة ، هو اكثر امانا ، لا يتوقف على قانون القصور الذاتي ، بقدر ما يتوقف علينا بالذات . ومن الواضح ، ان هذه القاعدة لا تنطبق على الجماد . ان احتمال تحطم القنينة الزجاجية ، المرمية الى الامام من عربة متحركة ، عند سقوطها على الارض ، اكبر من احتمال تحطم القنينة المرمية في الاتجاه المعاكس . ولذلك ، فاذا وجب عليك لسبب ما ، ان تقفز من عربة متحركة ، برمي حقائبك اولاً ، فيجب ان ترميها الى الوراء ، بينما تقفز انت الى الامام .

ان الناس المجربين - جياة الترام والمفتشون - كثيرا ما يتصرفون كما يلي : يقفزون الى الوراء ، موجهين ظهرهم باتجاه القفزة . وبذلك يحصلون على فائدة مزدوجة : اولاً ،

يقللون السرعة التي اكتسبها الجسم بموجب القصور الذاتي ، وثانيا ، يتحاشون خطر الوقوع ارضا على الظهر ، وذلك لأن الجهة الامامية لجسم الشخص القافر ، تكون باتجاه حدوث الوقوع المحتمل .

مسك رصاصة منطلقة باليد

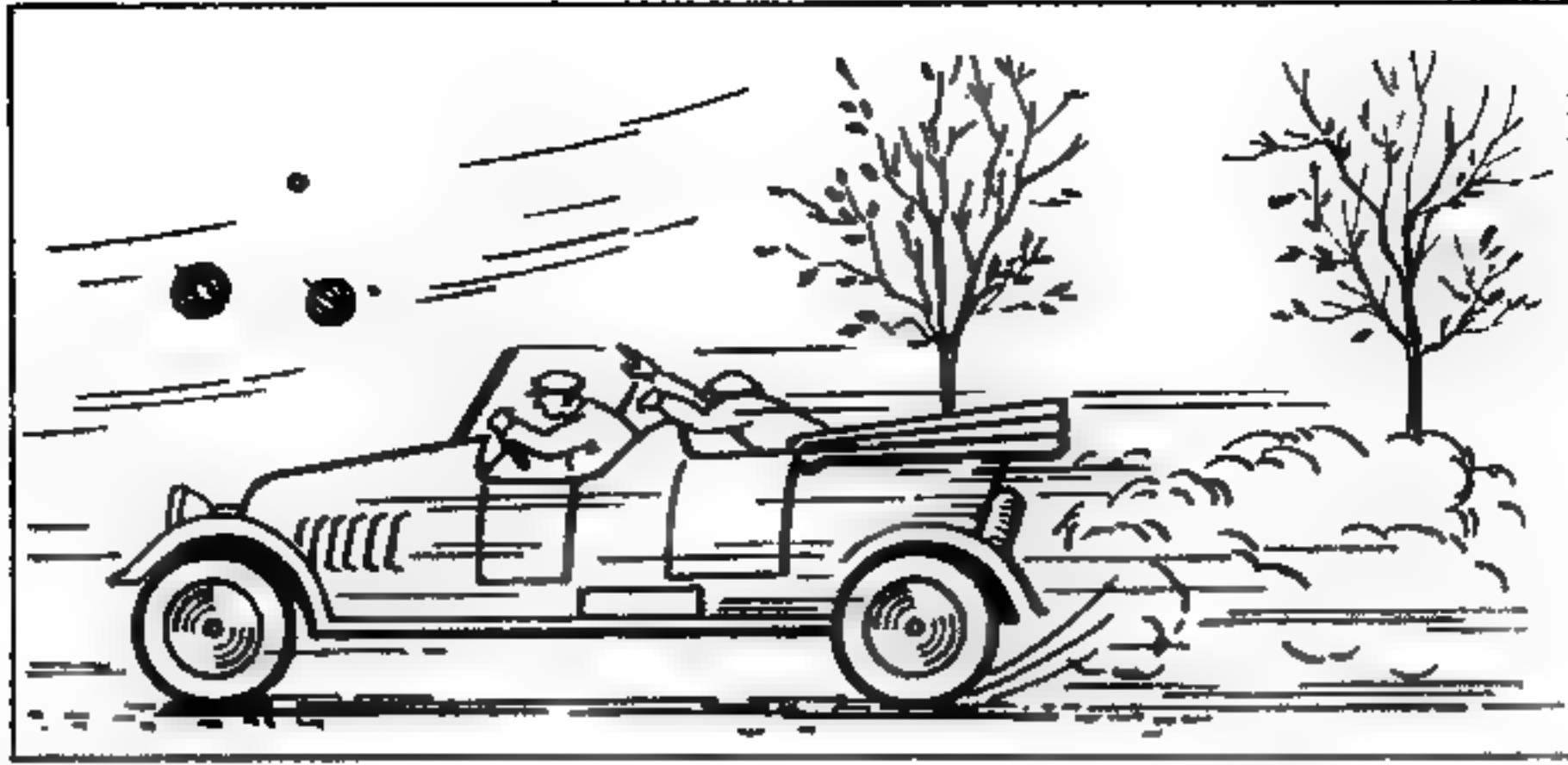
اثناء الحرب العالمية الاولى ، كما جاء في الصحف ، صادفت طيارا فرنسيا حادثة غير متوقعة بالمرّة . عندما كان الطيار يحلق على ارتفاع كيلومترين ، لاحظ شيئا صغيرا يتحرك على مقربة من وجهه . وما كان من الطيار الا ان التقط ذلك الشيء بيده ، وهو يظن انه حشرة . لتصور الآن دهشة الطيار عندما ظهر له ان الشيء الذي التقطه ، هو رصاصة المانية منطلقة .

الا بذكرنا هذا بالقصص الخرافية الاسطورية للبارون مونهاوزن الذي ادعى انه امسك بيديه قذيفة منطلقة من مدفع ؟

اما في قصة الطيار الذي التقط بيده رصاصة منطلقة ، فلا يوجد شيء مستحيل . ان الرصاصة لا تبقى دائما منطلقة بسرعتها الابتدائية التي تتراوح بين ٨٠٠ و ٩٠٠ م/ ثانية . فنتيجة لمقاومة الهواء ، تقلل الرصاصة من سرعتها تدريجيا ، وعند نهاية طريقها تهبط سرعتها الى ٤٠ م/ ثانية فقط . وبمثل هذه السرعة الاخيرة ، كانت تحلق الطائرات في ذلك الوقت . وهذا يعنى ، انه يمكن ان تتساوى سرعة الرصاصة المنطلقة مع سرعة الطائرة بكل سهولة . عندئذ ستصبح الرصاصة بالنسبة للطيار ، ساكنة ، او متحركة حركة بطيئة للغاية . وسوف لا يتعرض الطيار الى اى خطر ، اذا ما التقط الرصاصة بيده ، خاصة اذا كان يرتدى القفاز لان الرصاصة تسخن بشدة وهى تنطلق فى الهواء .

البطيخة القنبلة

اذا امكن للرصاصة فى ظروف معينة ، ان تصبح عديمة الضرر ، فيمكن حدوث حالة عكسية ، هى عندما يؤدى « الجسم الساكن » المرمى بسرعة بطيئة ، الى حدوث اعمال تخريبية .



شكل ٢١ : ان تأثير البطيخة المرمية من الامام حل سيارة منطلقة بسرعة ، لا يقل عن تأثير « القذيفة » .

اثناء سباق السيارات الذى جرى عام ١٩٢٤ بين مدينتى لينينغراد وتبيليسى ، رحب فلاحو القرى القوقازية بالسيارات المارة بقربهم ، وذلك بقذف المتسابقين بالبطيخ والشمام والتفاح . وقد ظهر بعد ذلك ان تأثير تلك الهدايا البسيطة ، كان تأثيرا غير مستحب بالمرّة . اذ عمل البطيخ والشمام على تشويه وتحطيم جسم للسيارة ، اما التفاح فقد عمل على اصابة المتسابقين بجروح خطيرة . ان سبب ذلك واضح . لقد اضيفت سرعة السيارة الى سرعة البطيخة او التفاحة المرمية ، وحولتهما الى قذيفتين خطيرتين مدمرتين . وليس من الصعب ان نستنتج ان الطاقة الحركية للرصاصة التى تزن ١٠ جم ، هى نفس الطاقة الحركية للبطيخة التى تزن ٤ كجم ، والتى قذفت بها السيارة المنطلقة بسرعة ١٢٠ كم/ ساعة . ولكن فى مثل هذه الظروف ، لا يمكن مقارنة التأثير الصدمى للبطيخة بتأثير الرصاصة ، لان صلادة البطيخة اقل كثيرا من صلادة الرصاصة . ومع تطور صناعة الطائرات النفاثة السريعة ، تكررت حوادث تصادم الطائرات مع الطيور الكاسرة ، الامر الذى أدى مرارا الى اصابة الطائرات بعطل ، بل والى سقوطها وتحطمها .

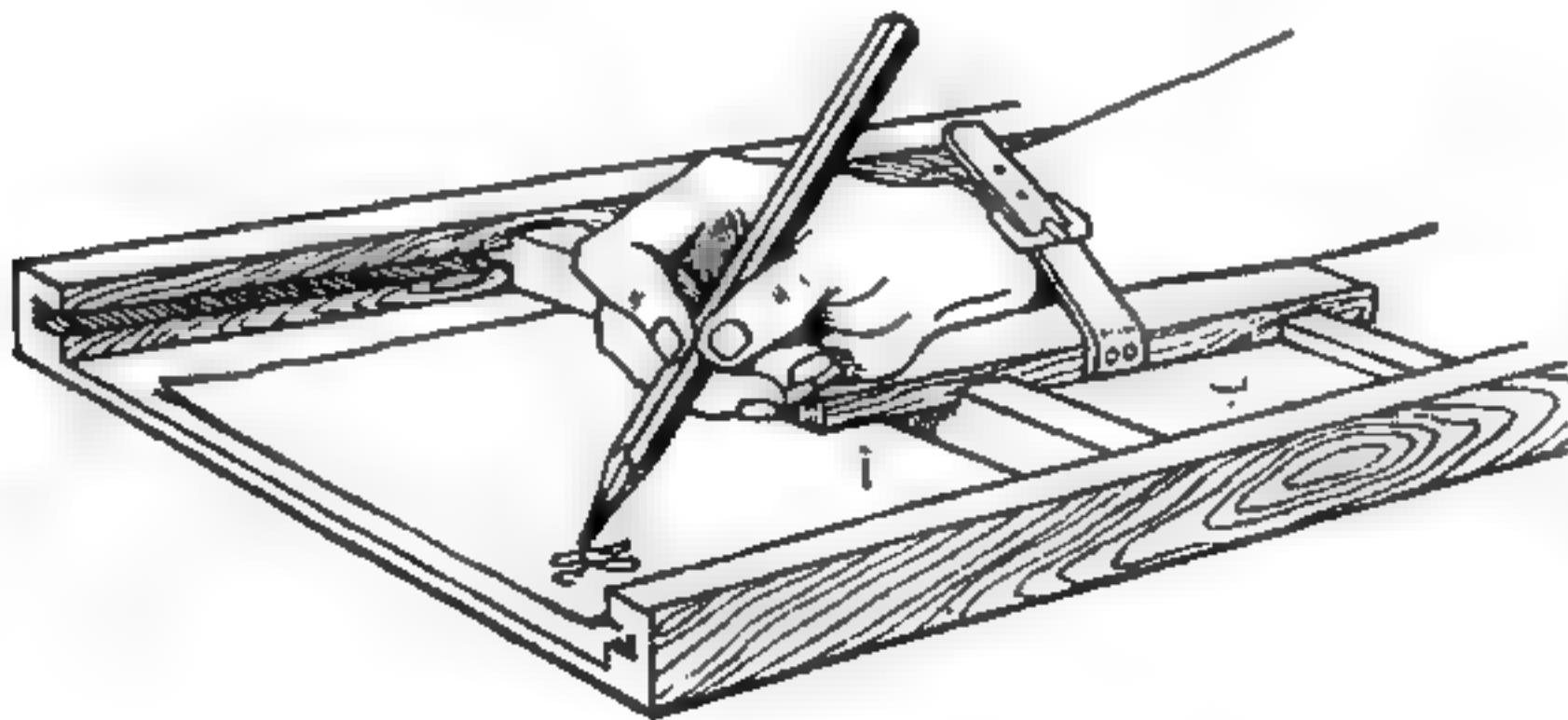
كيف يمكن لطير صغير ، ان يكون على هذه الدرجة من الخطورة بالنسبة لطائرة ثقيلة كثيرة المقاعد ؟ الا يبدو هذا غريبا ؟ ولكن عندما تبلغ سرعة الطائرة حداً يتراوح بين ٣٠٠ و ٥٠٠ م / ثانية ، يمكن لجسم الطائرة ان يخترق صفائح او زجاج قمرة الطيار . اما عندما يصيب منفث المحرك ، فيؤدى الى توقفه عن العمل . وفى عام ١٩٦٤ وقعت حادثة تصادم مماثلة لرجل الفضاء الامريكى تيودور فريمان ، عندما كان يتدرب على متن طائرة نفثة ، اودت بحياته . ومما يضاعف من خطورة التصادم ، هو ان الطيور الكاسرة ، لا تخاف الطائرات ولا تتحى عنها جانباً .

واذا ما تحركت اجسام ما فى اتجاه واحد وبسرعات متساوية ، فانها لا تسبب اية اخطار بالنسبة لبعضها البعض .

وفى عام ١٩٣٥ استطاع سائق القطار بورشوف ان يستفيد بمهارة من حقيقة عدم خطورة تصادم الاجسام المتحركة بسرعة متساوية تقريباً وفى اتجاه واحد ، عندما تتلاحم مع بعضها ، فتمكن بذلك من تلافى كارثة اصطدام قطاره مع قطار متحرك آخر ، يضم ٣٦ عربة . حدث ذلك عندما كان بورشوف يقود قطاره على خط بلنيكوف - اولشانكا جنوبى روسيا . كان يسير امام قطار بورشوف قطار آخر ما لبث ان توقف عن الحركة لعدم كفاية البخار اللازم لتشغيل المحركات ، فما كان من سائق ذلك القطار ، الا ان يتجه بالقاطرة مع بعض العربات الى الامام نحو المحطة ، تاركاً العربات الاخرى التى يبلغ عددها ٣٦ ، واقفة على الخط . وبعد قليل اخذت تلك العربات التى لم توضع تحت عجلاتها احذية فرملة ، بالتدحرج الى الوراء بسرعة ١٥ كم / ساعة ، وهى على وشك الاصطدام بقطار بورشوف . ولما ادرك السائق ذلك بفطنته ، اوقف قطاره فى الحال واخذ يقوده الى الوراء بسرعة تدريجية وصلت الى ١٥ كم / ساعة . وبفضل هذا التصرف ، استطاع بورشوف ان يجعل ال ٣٦ عربة ، تلتحم بقطاره دون اذى ضرر . واخيراً ، فقد تم انطلاقا من نفس المبدأ ، صنع جهاز يجعل من السهل جداً كتابة الرسائل فى القطار المتحرك . ان كتابة الرسائل فى قطار متحرك صعبة لسبب واحد ،

هو ان الاهتزازات الناتجة من مرور القطار فوق مفاصل السكة الحديدية ، لا تنتقل الى الورقة والى رأس القلم فى وقت واحد . فاذا تمكنا من جعل الاهتزازات تنتقل الى الورقة ورأس القلم فى نفس الوقت ، فسيكونان ساكنين بالنسبة لبعضهما البعض ، وسوف لا تبرز اية صعوبة عند الكتابة فى القطار المتحرك .

ويمكن التوصل الى ذلك ، بفضل الجهاز الميّن فى الشكل ٢٢ . تربط اليد التى تمسك بالقلم الى لوحة خشبية صغيرة أ ، تنزلق فى شقوب خدّية على اللوحة الخشبية ب ، التى تنزلق بدورها فى الشقوب الخدّية للوحة الكتابة الموضوعة على المنضدة داخل العربة . ان اليد كما نرى خفيفة الحركة ، بما فيه الكفاية لكتابة الحرف تلو الحرف والسطر تلو السطر ؛ والى جانب ذلك ، فان كل اهتزاز يصل الى الورقة الموضوعة على اللوحة ، ينتقل فى نفس اللحظة وبنفس القوة الى اليد التى تمسك بالقلم . وفى هذه الحالة ، تصبح الكتابة فى قطار متحرك ، مريحة كما هى الحال عند الكتابة فى عربة ساكنة ؛ والشئ الوحيد غير المريح هنا ، هو رؤية الورقة بصورة مهتزة ، وذلك لأن الرجات لا تصل الى اليد والرأس فى نفس الوقت .



شكل ٢٢ : جهاز خاص يساعد على الكتابة المريحة فى القطار المتحرك .

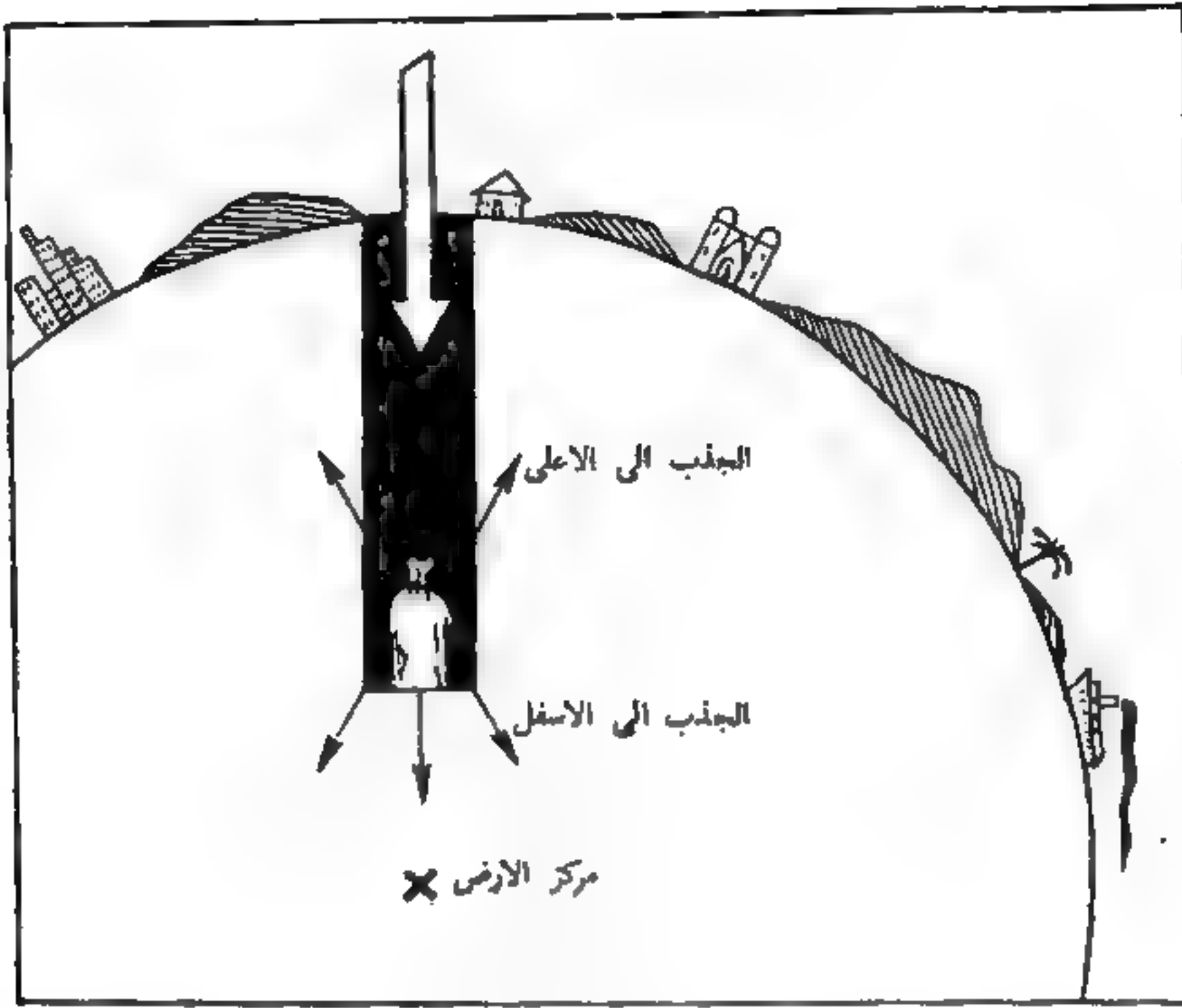
على منصة الميزان

ليس في استطاعتك ان تجد وزنك الصحيح بالضبط ، الا اذا وقفت على منصة الميزان دون ان تتحرك البتة . فاذا انحنيت ، فسيقل وزنك حالما تفعل ذلك . لماذا ؟ لأن العضلات التي تحنى النصف العلوى من الجسم ، تعمل فى نفس الوقت على رفع النصف السفلى من الجسم الى الاعلى ، مقللة بذلك ، الضغط الذى يؤثر به الجسم على القاعدة . وعلى العكس من ذلك ، فى اللحظة التي ينتصب فيها جسمك ، تعمل العضلات على دفع كلا نصفي الجسم احدهما بعيدا عن الآخر ، وهنا يشير الميزان الى زيادة ملحوظة فى الوزن ، بناء على زيادة ضغط النصف السفلى من الجسم على منصة الميزان . وهكذا حتى ان رفع اليد ، يجب ان يؤدي الى تذبذب مؤشر الميزان الحساس ، طبقا لزيادة القليلة التي تطرأ على الوزن الظاهرة للجسم . ان العضلات التي ترفع اليد الى الاعلى ، تتركز على الكتف وبالتالى ، فانها تدفعه مع الجسم الى الاسفل ، وبذلك يزداد الضغط على منصة الميزان . وعندما نتوقف عن رفع اليد ، تتحرك العضلات المقابلة ، التي ترفع الكتف الى الاعلى ، محاولة تقريبه من طرف اليد . وبذلك يقل وزن الجسم ، اى يقل الضغط المؤثر على القاعدة .

وعلى العكس من ذلك ، عندما نخفض اليد الى الاسفل ، فاننا نقلل من وزن جسمنا اثناء تلك الحركة ، فتزيد حالما نتوقف عن خفض اليد . وباختصار ، فاننا نستطيع بتأثير القوى الداخلية ، ان نزيد او نقلل من وزننا ، الذى نعنى به الضغط المؤثر على القاعدة .

اين تكون الاشياء اقل مما هي عليه ؟

ان قوة جذب الارض للجسام ، تقل كلما ارتفعنا عن سطح الارض . فاذا رفعنا سنجة وزن كيلوجراما واحدا ، الى علو قدره ٦٤٠٠ كم ، اى جعلناها تبتعد عن مركز الكرة الارضية مسافة تساوى ضعف نصف قطرها ، لقلت قوة الجاذبية بمقدار



شكل ٢٣ : لماذا تقل قوة الجاذبية كلما توغلنا في اصاف الارض ؟

٢٢ ، اى باربع مرات ، ولاشار الميزان الزنبركى الى الرقم ٢٥٠ جم فقط ، بدلا من ١٠٠٠ جم . ان الارض طبقا لقانون الجاذبية ، تجذب الاجسام الاخرى كما لو كانت كتلة الارض برمتها ، مركزة في المركز . اما قوة هذا الجذب ، فتناسب عكسيا مع مربع المسافة . وفي الحالة التى ذكرناها ، تضاعفت المسافة بين السنجة ومركز الارض ، ولهذا السبب قلت الجاذبية بمقدار ٢٢ ، اى باربع مرات . واذا ابعدنا السنجة عن سطح الارض مسافة قدرها ١٢٨٠٠ كم ، اى ثلاثة اضعاف نصف قطر الارض ، لقلت الجاذبية بمقدار ٢٣ ، اى بتسع مرات . عندئذ سيصبح وزن السنجة ١١١ جم فقط ، بدلا من ٢٠٠٠ جم .. وهكذا .

يستج من ذلك بالطبع ، اننا اذا توغلنا بالسنجة فى اعماق الارض ، اى اذا قربناها من مركز الارض ، فيجب ان تزداد قوة جذب الارض للسنجة ، اى يجب ان يكون وزن السنجة فى اعماق الارض ، اكثر مما هو عليه فوق سطحها . ان هذا الاستنتاج خاطئ ، اذ ان وزن الجسم لا يزداد بتعمقه فى داخل الارض ، بل على العكس من ذلك ، يقل . وتفسير ذلك فى هذه الحالة ، هو ان القوى التى تتألف منها الجاذبية الارضية ، لا تؤثر هنا على الجسم من جهة واحدة ، بل من جميع الجهات . ولو نظرنا الى الشكل ٢٣ ، لرأينا ان السنجة الموضوعة فى باطن الارض ، تنجذب الى الاسفل بتأثير قوى الجاذبية الموجودة تحت السنجة ، ولكنها فى نفس الوقت تنجذب الى الاعلى بتأثير قوى الجاذبية الموجودة فوقها . ويمكننا ان تثبت بان قوى الجاذبية التى تؤثر على الجسم بالفعل ، هى القوى المحصورة داخل كرة ، يساوى نصف قطرها المسافة من مركز الارض الى المكان الذى يوجد فيه الجسم . ولهذا السبب ، فان وزن الجسم يجب ان يقل باطراد كلما تعمقنا فى باطن الارض . فاذا ما وصلنا الى مركز الارض ، سنرى ان الجسم يفقد وزنه تماما . ويصبح عديم الوزن ، وذلك لان قوى الجاذبية الموجودة فى المركز ، ستؤثر عليه تأثير متساويا من جميع الجهات .

وهكذا ، فان اكبر وزن للجسم ، يكون على سطح الارض مباشرة ، ويقل ذلك الوزن كلما ابتعد الجسم عن سطح الارض ، سواء ارتفع فى الجو ، او نزل الى باطن الارض * .

وكم يزن الجسم اثناء سقوطه ؟

هل احسست بذلك الشعور الغريب ، الذى يتتابك عندما يهبط بك المصعد الى الاسفل ؟ ستشعر بخفة غير طبيعية ، كتلك التى يشعر بها الشخص ، عند سقوطه فى

* يكون هذا حقيقة واقعة ، لو كانت الارض متجانسة الكثافة تماما . ففى الواقع ، تزداد كثافة الارض كلما اقتربنا من المركز ، ولهذا ، فعند النزول الى باطن الارض ، تزداد قوة الجاذبية فى البداية الى مسافة معينة فقط ، حيث تبدأ بعدها بالانخفاض

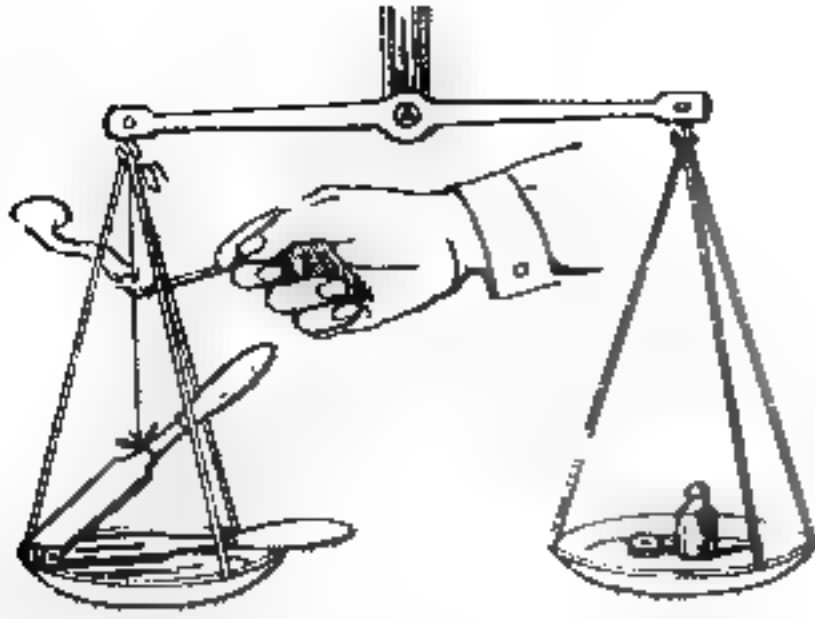
هوة سحيقة بلا قرار . وليس ذلك سوى شعور بانعدام الوزن . فى اللحظة الاولى للحركة ، عندما تبدأ ارضية المصعد التى تقف عليها ، بالهبوط الى الاسفل ، ولم تكن لك بعد تلك السرعة التى يهبط بها المصعد ، وينعدم تقريبا ، الضغط الذى يولده جسمك على ارضية المصعد ، وبالتالي يكون وزنك قليلا جدا . وتمر برهة قصيرة ، لا يلبث بعدها ان يزول ذلك الشعور الغريب ، فعندما يحاول جسمك ان يهبط اسرع من المصعد الذى يهبط بانتظام ، فانه يضغط على ارضية المصعد ، ويستعيد بذلك وزنه التام .

علق سنجة بخطاف ميزان زنبركى ، ولاحظ الى اين يتجه المؤشر ، اذا خفضنا الميزان والسنجة الى الاسفل (للسهولة ضع قطعة من الفلين فى شق الميزان ولاحظ تغير وضعيتها) . ستأكد من ان المؤشر اثناء الحركة ، سوف لا يشير الى الوزن التام للسنجة ، بل الى اقل من ذلك بكثير . فاذا سقط الميزان الى الاسفل بحرية تامة ، واستطعنا اثناء سقوطه ان نتبع حركة المؤشر ، لرأينا ان السنجة اثناء السقوط ، تكون عديمة الوزن بالمرّة ، وان المؤشر يقف عند الصفر .

ان الاشياء الثقيلة جدا ، تصبح عديمة الوزن تماما ، طوال الفترة الزمنية ، التى تكون خلالها فى حالة سقوط . ومن السهل جدا تعليل هذه الظاهرة . ان القوة التى يسحب بها الجسم خطاف الميزان ، او يضغط بها على قاعدته ، تسمى «الوزن» . ان الجسم الساقط ، لا يسحب زنبرك الميزان بتاتا ، وذلك لان الزنبرك يسقط هو الآخر مع الجسم . وعندما يكون الجسم فى حالة سقوط ، فانه لا يسحب اى شىء ولا يضغط على اى شىء . وبالتالي ، فان السؤال عن وزن الجسم عندما يكون فى حالة سقوط ، يشبه تماما السؤال عن وزن الجسم عندما يكون عديم الوزن .

وفى القرن السابع عشر ، كتب مؤسس علم الميكانيكا ، العالم الشهير غاليليو ، ما يلى * : «انتا تشعر بالحمل الموضوع على اكتافنا ، عندما نحاول منعه من السقوط . ولكننا اذا تحركنا الى الاسفل بنفس سرعة سقوط الحمل الموضوع على اكتافنا ، فكيف

* فى ابحاثه المسماة «بأهين رياضية» والمتعلقة بفرعين من فروع العلم الحديث .



شكل ٢٤ : تجربة توضح بان الجسم الساقط عديم الوزن .

يضغط علينا ويثقل كاهلنا ؟ ان ذلك سيكون تماما ، كما لو اردنا ان نصيب برمحنا * شخصا ما يركض امامنا بنفس السرعة التي نلاحقه بها نحن .

ان التجربة البسيطة التالية ، تؤكد بوضوح ، حقيقة هذه المناقشات .

نضع كسارة بندق في احدى كفتي ميزان تجارى ، بحيث يستقر احد مرفقى الكسارة على كفة الميزان ، ونربط المرفق الآخر بخيط معلق في خطاف ذراع الميزان كما هو مبين في الشكل ٢٤ . نضع سنجات في كفة الميزان الاخرى الى ان تتوازن الكفتان . نقرب من الخيط عود ثقاب مشعل ، فيحترق الخيط ويسقط المرفق العلوى لكسارة البندق في كفة الميزان .

ماذا يحدث للميزان في هذه اللحظة ؟ هل تنخفض كفة الميزان التى تحمل كسارة البندق فى الفترة التى يستمر فيها سقوط المرفق العلوى لكسارة ، وهل ترتفع تلك الكفة ام تبقى متوازنة ؟

الآن وبعد ان علمنا ان الاجسام الساقطة عديمة الوزن ، نستطيع سلفا ، الاجابة على هذا السؤال بصورة صحيحة : يجب ان ترتفع كفة الميزان لبرهة قصيرة الى الاعلى . وفى الحقيقة ، فان المرفق العلوى لكسارة البندق ، بالرغم من اتصاله بالمرفق السفلى ، يولد عند سقوطه ، ضغطا على كفة الميزان ، اقل من الضغط الذى يولده عليها عندما يكون ساكنا . ان وزن كسارة البندق يقل لبرهة قصيرة ، وفى تلك الاثناء بالطبع ، ترتفع كفة الميزان الى الاعلى .

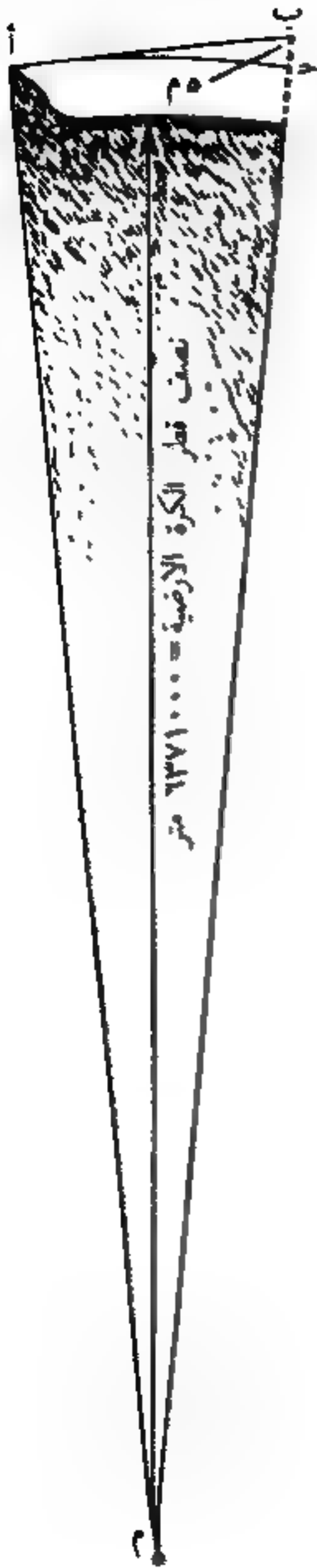
* دون ان نرى الرمح من يدنا .

من المدفع ... الى القمر ؟

فى الفترة الواقعة بين عامى ١٨٦٥ و ١٨٧٠ ، صدرت فى فرنسا رواية جول فيرن الخيالية « من المدفع الى القمر » التى احتوت على فكرة غريبة ، وهى ان نطلق من فوهة المدفع الى القمر ، قذيفة ضخمة على هيئة عربة مملوءة بركاب ! لقد طرح جول فيرن فكرته هذه ، بصورة قريبة من الحقيقة ، بحيث بدت على وجوه معظم القراء بلا ريب ، علائم استفهام : الا يمكن فى الواقع تحقيق هذه الفكرة ؟ ان الحديث عن ذلك ممتع جدا * .

اولا ، لنبحث عما اذا كان يمكن - ولو نظريا - ان نطلق من المدفع ، قذيفة ما ، بحيث لا تعود مرة ثانية الى الارض بتاتا . ان هذا الامر ممكن من الناحية النظرية . والان ، ما هو السبب الذى يجعل القذيفة المنطلقة افقيا من فوهة المدفع ، تسقط فى النهاية على الارض ؟ ان السبب هو ان الارض بجذبها للقذيفة ، تغير مسارها - اى مسار القذيفة - من خط مستقيم الى خط منحن يتجه نحو الارض ، ولا بد له ان يلتقى بها بعد مدة طالت ام قصرت . وفى الواقع ، فان سطح الارض منحن ايضا ، ولكن مسار القذيفة اكثر انحناء بكثير من سطح الارض . فاذا قللنا من انحناء مسار القذيفة ، وجعلناه مماثلا لانحناء سطح الكرة الارضية ، فان مثل هذه القذيفة لن تسقط على الارض مطلقا . وبدلا من ذلك ، فان القذيفة سوف تتحرك على مدار متحد المركز مع محيط الكرة الارضية . وبعبارة اخرى ، تصبح القذيفة بمثابة تابع ارضى ، كما لو كانت قمرا صغيرا ثانيا .

* اما الآن ، وبعد اطلاق الاقمار الصناعية والصواريخ الكونية الاول ، نستطيع القول بان الصواريخ لا القذائف ، هى التى تستخدم فى الرحلات الفضائية . ولكن حركة الصاروخ بعد انتهاء مرحلته الاخيرة ، تخضع لنفس القوانين التى تخضع لها حركة قذيفة المدفع ، لذلك فان الموضوع الذى يبحثه المؤلف هنا ، لا يزال محتفظا بحيويته - المبرر .



شكل ٢٥ : حساب سرعة القذيفة ،
التي يجب ان تخرج عن نطاق الكرة
الارضية بصورة نهائية .

ولكن كيف نتوصل الى جعل القذيفة المنطلقة من
المدفع تتخذ مسارا ، اقل انحناء من سطح الكرة الارضية ؟
لكي نتوصل الى ذلك ، من الضروري فقط ، اعطاء القذيفة
السرعة الكافية . لاحظ الشكل ٢٥ ، الذي يبين مقطعا
عرضيا لجزء من الارض . وهناك على قمة الجبل ، وضع
مدفع في النقطة أ . ان القذيفة التي تطلق افقيا من ذلك
المدفع ، يمكن ان تصل الى النقطة ب في ثانية واحدة ،
في حالة انعدام الجاذبية الارضية . ولكن وجود الجاذبية
الارضية يغير الامر . فبتأثير هذه القوة ، لا تصل القذيفة
الى النقطة ب خلال ثانية واحدة ، بل تصل الى
النقطة ج ، التي تقع تحت النقطة ب بمسافة ٥ م . ان
هذه الامتار الخمسة ، هي المسافة التي يقطعها (في
الفراغ) كل جسم ساقط بحرية ، في الثانية الاولى بسبب
تأثير الجاذبية الارضية القريبة من سطح الارض . فاذا
ظهر ان ارتفاع القذيفة عن سطح الارض ، بعد هبوطها
بمقدار ٥ م ، هو نفس الارتفاع الذي كانت عليه عند
وجودها في النقطة أ ، فهذا يعني ان القذيفة تتحرك على
مدار متحد المركز مع محيط الكرة الارضية .

بقي علينا ان نحسب المسافة أ ب (شكل ٢٥) ، اي
المسافة التي قطعها القذيفة خلال ثانية واحدة ، في الاتجاه
الافقي . عندئذ سنعرف السرعة المطلوبة لاطلاق القذيفة

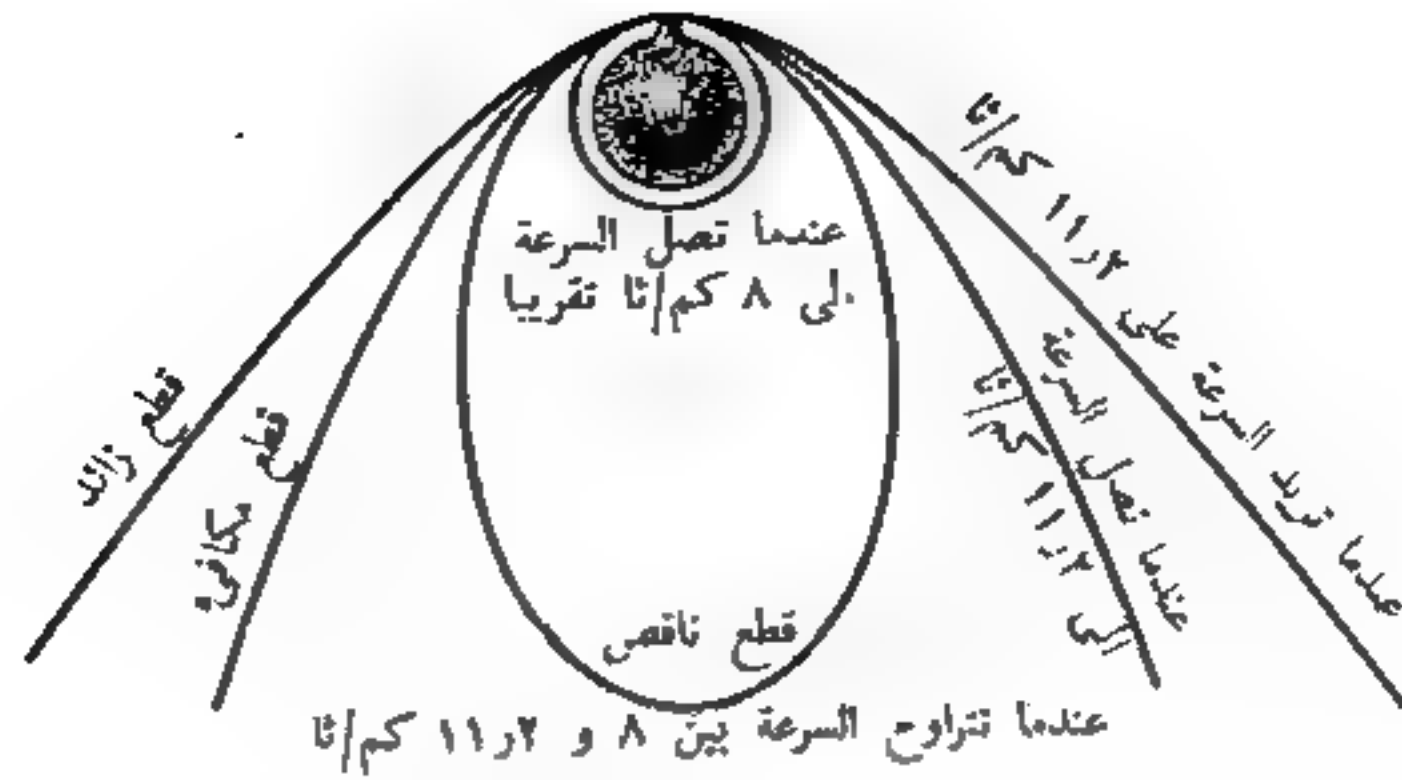
من فوهة المدفع . ومن السهل حساب ذلك من المثلث أم ب ، الذى يكون فيه م أ - نصف قطر الكرة الارضية (ويساوى حوالى ٦٣٧٠٠٠٠ م) ؛ م ج = م أ ؛ والمسافة ب ج = ٥ م . اذن م ب = ٦٣٧٠٠٠٥ م .
وبتطبيق نظرية فيثاغورس ، نجد ان :

$$(أب)^2 = (٦٠٧٠٠٠٥)^2 - (٦٣٧٠٠٠٠)^2$$

وبحل هذه المعادلة ، ينتج ان أب يساوى ٨ كم تقريبا .
وهكذا ، فلو انعدم وجود الهواء الذى يعرقل كثيرا الحركة السريعة ، لوجدنا ان القذيفة المنطلقة افقيا من فوهة المدفع بسرعة ٨ كم/ثانية ، لن تسقط على الارض ابدا ، بل تدور حول الارض بصورة ازلية ، كما يدور القمر الاصطناعى .
والآن ، اذا اطلقنا القذيفة من المدفع ، بسرعة اكبر من تلك السرعة المذكورة ، قالى اين تنطلق ؟ لقد برهن العاملون فى حقل ميكانيكا الاجواء العليا ، ان اطلاق القذيفة من فوهة المدفع بسرعة قدرها ٨ر٩ كم/ثانية او حتى ١٠ كم/ثانية ، يجعلها تأخذ مدارا اهليلجيا حول الارض ؛ تزداد استطالته كلما ازدادت السرعة الابتدائية للقذيفة . اما عندما تصل سرعة القذيفة الى ١١ر٢ كم/ثانية ، فانها لا تتخذ لنفسها مدارا اهليلجيا ، بل تتخذ مدارا غير مقفل - قطع مكافئ ، وبذلك تبتعد عن الارض بصورة نهائية (شكل ٢٦) .

وهكذا نرى ان فكرة التحليق الى القمر داخل قذيفة منطلقة بسرعة كبيرة كافية * ،
هى فكرة صحيحة من الناحية النظرية .
(ان الجو المذكور فى المناقشة السابقة ، هو الجو الذى لا يعرقل حركة القذيفة .
اما فى الظروف الواقعية ، فان وجود الجو المقاوم للحركة ، يعرقل كثيرا ، محاولة الوصول الى سرع كبيرة ، وربما يجعل من المستحيل تحقيقها)

* ولكن قد تنشأ هنا صعوبات خاصة جدا . ان هذه المسألة مبحوثة بصورة مفصلة فى الكتاب الثانى من « الفيزياء المسلية » ، وكذلك فى كتاب آخر للمؤلف عنوانه « رحلة بين الكواكب » .



شكل ٢٦ : مسارات قذيفة المدفع ، المنطلقة بسرعة ابتدائية تبلغ ٨ كم/ثا وأكثر .

كيف وصف جول فيرن الرحلة الى القمر وكيف كان يجب ان تتم !

ان كل من قرأ رواية جول فيرن « من المدفع الى القمر » لا بد وان يتذكر تلك اللحظة الممتعة من الرحلة ، التي مرت فيها القذيفة بالنقطة التي تتساوى عندها الجاذبية الارضية مع جاذبية القمر . لقد حدث في الحقيقة شيء لا يصدق : ان جميع الاشياء التي كانت داخل القذيفة ، فقدت وزنها . اما المسافرون انفسهم ، فقد اصبحوا معلقين في الهواء دون ان يستندوا الى اى شيء .

ان هذا الوصف صحيح تماما ، ولكن غاب عن ذهن جول فيرن ان نفس الشيء كان يجب ان يحدث ايضا ، قبل وبعد المرور بنقطة الجاذبية المتعادلة . ومن السهل ان نبين ان المسافرين وكافة الاشياء الموجودة داخل القذيفة ، لا بد وان تصبح عديمة الوزن من اللحظة الاولى لبداية الطيران الطليق .

يبدو ان هذا الامر مستحيل ، ولكنى واثق من ان القارئ سيتعجب الآن ، لانه بالذات ، لم ينتبه سابقا الى تلك الهفوة الكبيرة .

لنأخذ مثالا من رواية جول فيرن . لا شك ان القارئ لم ينس كيف رمى المسافرون جثة الكلب خارج القذيفة ، وكيف نملكتهم الدهشة عندما لاحظوا ان الجثة لم تسقط

على الارض مطلقا ، بل استمرت فى الاندفاع الى الامام مع القذيفة . لقد وصف جول فيرن هذه الظاهرة وصفا صحيحا وفسرها على حقيقتها . وبالفعل ، ففى الفراغ كما هو معروف ، تسقط جميع الاجسام بسرعة واحدة : لان الجاذبية الارضية تعطى جميع الاجسام تسارعا (تعجيلا) متساويا . وفى الحالة المذكورة ، كان لا بد للقذيفة ولجثة الكلب ، من ان تكتسبا بتأثير الجاذبية الارضية ، سرعة سقوط واحدة (تسارعا واحد) . ويتعير ادق ، كان لا بد للسرعة التى اكتسبتها عند الانطلاق من المدفع ، ان تقل بالتساوى تحت تأثير الجاذبية الارضية . يتج من ذلك ، ان سرعتى القذيفة وجثة الكلب يجب ان تكونا متساويتين دائما فى كافة نقاط الطريق . ولذلك ، فان جثة الكلب المرمية خارج القذيفة استمرت فى اللحاق بالقذيفة دون ان تتخلف عنها بشيء .

ولكن الشيء الذى لم يفكر فيه جول فيرن هو : اذا لم تسقط جثة الكلب الى الارض عند وجودها خارج القذيفة ، فلماذا تسقط عند وجودها داخل القذيفة ؟ مع ان نفس القوى بالذات تؤثر فى كلتا الحالتين ! ان جسم الكلب المعلق بحرية فى الفراغ الموجود داخل القذيفة ، يجب ان يبقى على تلك الحالة : اذ ان سرعته مساوية تماما لسرعة القذيفة ، وهذا يعنى ان الجسم يبقى فى حالة سكون بالنسبة للقذيفة .

والقوانين التى خضعت لها جثة الكلب ، هى نفس القوانين التى تخضع لها اجسام المسافرين وجميع الاشياء الموجودة داخل القذيفة بصورة عامة . اى تكون لها نفس سرعة القذيفة بالذات فى كافة نقاط الطريق . وبالتالي ، فلا يجب ان تسقط حتى لو بقيت بدون مسند . فالكرسى الموضوع على ارضية القذيفة المنطلقة ، يمكن وضعه بصورة معكوسة عند سقف القذيفة دون ان يسقط الى الاسفل ، ذلك لانه سوف يستمر فى اللحاق بالسقف جنبا الى جنب . وبامكان المسافر الجلوس على هذا الكرسي ورأسه الى اسفل والبقاء على تلك الحالة دون ان يتعرض بتاتا للسقوط على ارضية القذيفة . فما هى القوة التى تستطيع ان تجبره على السقوط ؟ اذ لو سقط المسافر ، اى لو اقترب من الارضية ، لكان معنى ذلك فى الحقيقة ، ان القذيفة تنطلق فى الفضاء بسرعة اكبر من سرعة المسافر (ولو لا ذلك لما اقترب الكرسي من ارضية القذيفة) . وبالمناسبة ،

فان هذا الشيء مستحيل : فنحن نعلم ان لجميع الاشياء الموجودة داخل القذيفة تسارعا مساويا لتسارع القذيفة بالذات .

ان جول فيرن لم ينتبه الى ذلك : فقد تصور ان الاشياء الموجودة داخل القذيفة المنطلقة في الفضاء ، سوف تستمر بالضغط على قواعدھا (مرتكزاتها) كما كانت عليه الحال عندما كانت القذيفة ساكنة . وغاب عن ذهن جول فيرن كذلك ان الجسم يضغط بثقله على القاعدة ، لسبب واحد ، هو ان القاعدة اما ان تكون ساكنة ، ام انها تتحرك بانتظام . فاذا كان الجسم والقاعدة يتحركان في الفضاء بتسارع واحد فلا يمكن ان يضغط احدهما على الآخر (اذا كان سبب التسارع قوة خارجية ، مثلا مجال الجاذبية الارضية . لا اشتغال محرك الصاروخ) .

وهكذا ، فمند اللحظة التي توقف عندها تأثير الغازات النفثة على القذيفة * ، اصبح المسافرون عديمي الوزن ، وكان في استطاعتهم التحليق بحرية في الهواء الموجود داخل القذيفة . وكذلك بالضبط كان من المحتم ان تصبح جميع الاشياء الموجودة داخل القذيفة ، عديمة الوزن تماما . وبهذه الدلالة ، استطاع المسافرون ان يتبينوا بسهولة ، هل هم منطلقون في الفضاء ام لا زالوا موجودين في داخل المدفع . وبهذه المناسبة ، يحدثنا جول فيرن كيف ان المسافرين لم يدركوا في اول نصف ساعة من الرحلة الفضائية عما اذا كانوا يطبرون حقا ام لا ؟ فيدور بينهم الحوار التالي :

— نيقولا ، هل اننا نتحرك ؟

كان اردان ونيقولا ينظران الى بعضهما البعض ، فهما لم يشعرا بحركة القذيفة .

وهنا كرّر اردان السؤال :

— حقا ! هل نحن نتحرك ؟

ثم استطرد نيقولا متسائلا :

— ام اننا لا نزال على ارض فلوريدا ؟

* اي عند بدء انطلاق القذيفة بالدفع الذاتي - المعرب .

واكمل ميشيل السؤال بقوله :

— او على قاع خليج المكسيك ؟

ان هذه الشكوك قد تدور في اذهان المسافرين على ظهر احدى البواخر . اما ان تدور في اذهان المسافرين داخل قذيفة محلقة في الفضاء ، فهو امر لا يمكن تصويره : ان المسافرين على ظهر الباخرة يحتفظون باوزانهم ، اما المسافرون داخل قذيفة فضائية ، فلا بد ان يلاحظوا انهم قد فقدوا وزنهم تماما .

ويجب اعتبار هذه القذيفة الخيالية بمثابة ظاهرة غريبة ! عالم صغير جدا ، تكون فيه الاجسام عديمة الوزن . واذا رميت فانها تبقى معلقة في محلها بسكون ، وتحافظ فيه الاشياء على توازنها في جميع الاوضاع . ولا ينسكب الماء من قنينة زجاجية مائلة ... لقد غاب كل ذلك عن ذهن مؤلف « رحلة الى القمر » ، بينما كان باستطاعته لو انتبه الى هذه الامكانيات المدهشة ، ان يطلق العنان لتخيلاته .

ان اول من طاف في ذلك العالم المدهش .. عالم انعدام الوزن ، هم رجال الفضاء السوفييت . وقد استطاع ملايين الناس : الذين تبعوا تحليق رجال الفضاء السوفييت على شاشة التلفزيون ، ان يروا كيف تتعلق الاشياء المرمية من اليد في الهواء ، وكيف حام رجال الفضاء انفسهم في داخل قمراتهم ، بل وحلقوا مع سفينة الفضاء جنبا الى جنب .

وزن مضبوط على موازين غير مضبوطة

ما هو الشيء الاهم بالنسبة لعملية الوزن الصحيحة : الميزان ام السنجة ؟ يكون القارئ مخطئا اذا فكر بانهما على درجة واحدة من الاهمية ، اذ يمكن ان نحصل على وزن مضبوط دون ان يكون لدينا ميزان مضبوط ، عندما تكون لدينا سنجة مضبوطة . وهناك عدة طرق للحصول على الوزن المضبوط من ميزان غير مضبوط . ولنبحث طريقتين من تلك الطرق :

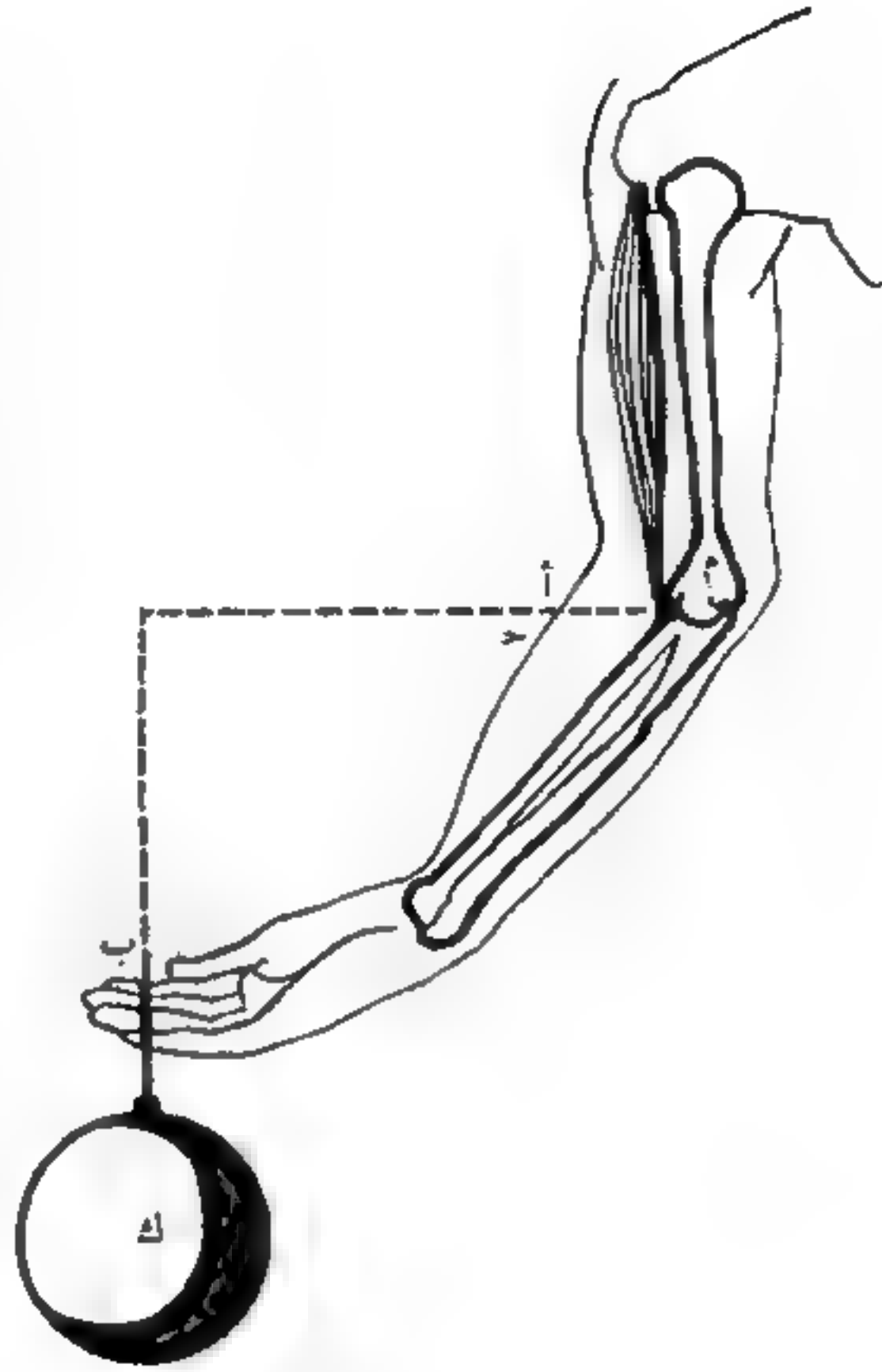
نبدأ بالطريقة الاولى التي اقترحها الكيميائي الروسي العظيم دمترى مندلييف . سدا الوزن بوضع ثقل ما من اى نوع كان في احدى كفتى الميزان ، على شرط ان يكون

اثقل من الجسم المراد وزنه . تعادل هذا الثقل بعبارات توضع في الكفة الثانية للميزان . وبعد ذلك يوضع الجسم المراد وزنه في الكفة المحتوية على العيارات ، ونرفع منها العيارات الزائدة الى ان يعود التوازن المفقود الى كفتي الميزان . وكما يبدو ، فان وزن العيارات المرفوعة يساوى وزن الجسم : لاننا استعاضنا عن تلك العيارات بوزن الجسم الموصوع في نفس الكفة بالذات ، الامر الذي يعنى ان وزن الجسم يساوى وزن العيارات المرفوعة . ان هذه الطريقة تسمى : « طريقة الحمل الثابت » وهي مريحة خاصة عند القيام بوزن عدة اجسام ، الواحد تلو الآخر . اذ يبقى الحمل الابتدائي ليستخدم في كافة عمليات الوزن . والطريقة الاخرى التي سميت باسم العالم الذي اقترحها وهي « طريقة بورد » ، تجري كما يلي : نضع الجسم المراد وزنه في احدى كفتي الميزان ، ونضع في الكفة الثانية رملا او خردقا الى ان تتوازن الكفتان . ثم نرفع الجسم المراد وزنه من كفة الميزان (مع عدم التعرض للرمل) ، ونضع فيها عبارات الى ان تعود الكفتان الى توازنهما السابق . ومن الواضح الآن ، ان وزن العيارات يساوى وزن الجسم الذي استبدل بها . ومن هنا انت التسمية الاخرى لهذه الطريقة وهي « الوزن بالاستبدال » . وهذه الطريقة البسيطة تستخدم ايضا بالنسبة للميزان الزنبركي الذي يحتوى على كفة واحدة فقط ، اذا كانت لدينا بالاضافة الى ذلك ، عبارات مضبوطة . وفي هذه الحالة لن نحتاج الى الرمل او الخردق . نضع الجسم المراد وزنه في كفة الميزان ونلاحظ العلامة التي يقف عندها المؤشر . ثم نرفع ذلك الجسم ونضع محله العيارات اللازمة لاعادة المؤشر الى نفس العلامة التي وقف عندها في المرة الاولى . ان وزن العيارات ، كما يتضح ، يجب ان يساوى وزن الجسم الذي استبدل بها

انك اقوى مما تعتقد !

ما هو مقدار الثقل الذي تستطيع ان ترفعه بيدك ؟ لنفرض انه يساوى ١٠ كجم . هل تعتقد ان هذه الكيلوجرامات العشرة ، تحدد قوة عضلات يدك ؟ لا ابدا . ان العضلات

اقوى من ذلك بكثير ! تتبع على
 سبيل المثال ، عمل عضلة يدك
 المسماة بالعضلة ذات الرأسين
 (شكل ٢٧) . وهذه العضلة
 مثبتة بالقرب من نقطة ارتكاز
 العتلة، الممثلة هنا بعظم الساعد.
 اما الثقل فيؤثر فى الطرف الثانى
 لهذه العتلة الحية . والمسافة من
 الثقل الى نقطة الارتكاز ، اى الى
 المفصل ، اكبر من المسافة بين
 نهاية العضلة ونقطة الارتكاز
 بشمانى مرات تقريبا . وهذا يعنى
 انه اذا كان مقدار الثقل ١٠
 كجم ، فان العضلة تشده بقوة
 تزيد على ذلك بشمانى مرات .
 ولما كانت القوة الناشئة فى العضلة
 تزيد على قوة اليد بشمانى مرات ،
 فان باستطاعة العضلة رفع ٨٠
 كجم لا ١٠ كجم . ونكون على
 حق اذا قلنا دون مبالغة ، بان
 كل انسان فى الوجود ، هو اقوى
 كثيرا مما يعتقد ، اى ان القوة
 الناشئة فى عضلاتنا ، هى اكبر
 بكثير من القوة التى نبدىها عند
 القيام باعمالنا .



شكل ٢٧ : ان ساعد الانسان ج ، هو عبارة
 عن عتلة حية . والقوة هنا تؤثر فى النقطة أ ، ويقع
 مرتركز العتلة فى نقطة المفصل م . اما الثقل ك فيرفع
 من النقطة ب . ان المسافة (ب م) اكبر من المسافة
 (أ م) بشمانى مرات تقريبا (ان هذا الشكل مأخوذ من
 كتاب قديم عنوانه - حركات الحيوانات - قدم بتأليفه
 العالم الفسيولوجى يوريللى فى القرن السابع عشر . وكان
 هذا العالم هو اول من ادخل قوانين الميكانيكا على علم
 الفسيولوجيا) .

هل ان هذا التكوين ملائم للغرض ؟ يبدو لاول وهلة وكأنه غير ملائم للغرض لان في ذلك خسارة في القوة ، لا يعوض عنها اى شى . ولكن لتذكر « القاعدة الذهبية » القديمة في علم الميكانيكا وهى : ان كل خسارة في القوة هى ربح في الحركة . وهنا نحصل على ربح في الحركة ، لان ايدينا تتحرك اسرع من العضلات بثمانى مرات . ان طريقة تثبيت العضلات ، التى نراها في جسم الاحياء ، تساعد الاطراف على الاسراع من حركتها التى تكون اكثر اهمية من القوة ، فيما يتعلق بتنازع البقاء . واذا لم تكن ايدينا وارجلنا مكونة بهذا الشكل ، لكننا مخلوقات بطيئة الحركة الى درجة كبيرة .

لماذا تكون الاجسام المستننة (العادة) وخلافة ؟

هل فكر القارئ في السؤال التالى : لماذا تخترق الابرة الجسم بسهولة ؟ ولماذا يمكن بسهولة غرز ابرة رفيعة في قطعة من الورق المقوى او الفماش ، ويصعب غرز مسمار مثلم ؟ مع العلم ان القوة المؤثرة في كلتا الحالتين هى قوة واحدة ! ان القوة واحدة . اما الضغط فهو مختلف . ففي الحالة الاولى تركزت القوة باجمعها على سنان الابرة ، اما في الحالة الثانية فقد توزعت القوة نفسها على مساحة اكبر ، هى مساحة طرف (رأس) المسمار ، وبالتالي يكون ضغط الابرة ، اكبر كثيرا من ضغط المسمار المثلم ، عندما نسلط عليهما قوة واحدة .

ويؤكد الجميع بان المسلفة ذات العشرين سنا تخترق للتربة بعمق اكبر من العمق الذى تصله المسلفة ذات الستين سنا . فما السبب في ذلك ؟ ان السبب هو ان الحمل المسلط على كل سن في الحالة الاولى ، اكبر مما هو عليه في الحالة الثانية .

وعندما نتحدث عن الضغط ، يجب دائما ، بالاضافة الى القوة ، ان نأخذ في الاعتبار كذلك ، المساحة التى تؤثر عليها تلك القوة . واذا قيل لنا ان فلانا يتقاضى اجرة قدرها ١٠٠ روبل ، فان هذا القول لا يكون كافيا لكى نعرف هل هذا كثير ام قليل ، الا اذا عرفنا ان هذا المبلغ ، هو اجرته الاسبوعية او الشهرية . وهكذا بالضغط ،

فان تأثير القوة يعتمد على المساحة التي تتوزع عليها ، هل تتوزع على ١ سم^٢ ام تتوزع على ١٠٠ سم^٢

وباستطاعة الانسان ان يتزلج على الثلج الهش بواسطة زحلوقة . اما بدونها ، فان قدميه تغوطان في الثلج . ما هو السبب ؟ ان السبب هو ان ضغط الجسم في الحالة الاولى يتوزع على سطح اكبر كثيرا مما هو عليه في الحالة الثانية . واذا كان سطح الزحلوقة ، مثلا ، اكبر من سطح قدمينا بعشرين مرة ، فاننا نضغط بالزحلوقة على الثلج ، بقوة تقل بعشرين مرة ، عن القوة التي تولدها عندما نضغط باقدامنا على الثلج . والثلج الهش يتحمل الضغط في الحالة الاولى ، ولا يتحمله في الحالة الثانية .

ولنفس السبب بالذات ، تشد الى حوافر الخيول التي تعمل في المستنقعات ، اخفاف خاصة لزيادة مساحة ارتكاز القوائم ، وبذلك يقل الضغط المسلط على تربة المستنقع . وبالتالي ، فان قوائم الخيول عندئذ لا تغوط في تربة المستنقع . وبهذه الطريقة بالذات ، يتصرف بعض الناس الذين يعيشون في اماكن تكثر فيها المستنقعات . ويتحرك الناس زحفا على القشرة الجليدية الرقيقة ، لكي يوزعوا اثقال اجسامهم على مساحة اكبر .

واخيرا ، فان الخاصية المميزة للدبابات والعربات المجتزة ، وهي عدم غوطها في التربة الرخوة على الرغم من وزنها الثقيل جدا ، تفسر ايضا بتوزيع الوزن على سطح ارتكاز كبير .

ان العربة المجتزة التي تزن ٨ اطنان واكثر ، تضغط على كل ١ سم^٢ من التربة بقوة لا تزيد على ٦٠٠ جم . ومن وجهة النظر هذه ، فان سيارة الشحن المجتزة ، التي تعبر المستنقعات تحظى بالاهتمام . ان سيارة الشحن هذه ، التي تحمل طنين من الاحمال ، تضغط على التربة بقوة لا تتجاوز ١٦٠ جم / سم^٢ . وبفضل ذلك ، فانها تسير بصورة جيدة في المستنقعات الخثية ، وفي الاماكن الموحلة او الرملية .

وفي هذه الحالة ، تصبح مساحة الارتكاز الكبيرة ، مفيدة ايضا من الناحية التكنيكية ، مثل المساحة الصغيرة في حالة الابرة .

ويتضح مما قيل ، ان الرأس الحاد يوخز ، بفضل المساحة الصغيرة ، التى يتوزع عليها تأثير القوة . ولنفس السبب بالذات ، فان السكين الحادة تقطع احسن من السكين المثلمة اذ تتركز القوة على مساحة صغيرة .

وهكذا ، فان الاجسام الحادة (المسنتة) ، تكون جيدة الوخز او القطع ، لان ضغطا كبيرا يتركز على رأسها ونصبالها .

متى يكون السرير الحجرى مريحا ؟

لماذا يكون الجلوس على كرسى خشبى بلا مسند ، غير مريح ، بينما يكون الجلوس على الكرسى الخشبى العادى مريحا ؟ لماذا يكون الاستلقاء فى ارجوحة شبكية من الحبال الخشنة ، مريحا ؟ لماذا تشعر بالراحة عند التمدد على الشبكة السلكية التى تجهز بها الاسرة عوضا عن الحشايا الزنبركية ؟

ليس من الصعب الاجابة على هذه الاسئلة . ان مقعدة الكرسى الخالى من المسند مستوية ، وعندما نجلس عليها ، فاننا نضغط بثقل الجسم كله ، على مساحة صغيرة منها فقط . اما مقعدة الكرسى العادى فهى مقعرة وعند جلوسنا عليها نضغط على مساحة كبيرة منها ، يتوزع عليها ثقل الجسم ، وبذلك يقل الثقل والضغط المستلطين على وحدة السطح .

وهكذا ، فكل ما فى الامر هنا ، هو توزيع الضغط بصورة اكثر انتظاما . وعندما ننعم بالاستلقاء على سرير وثير ، تتكون فيه تجاويف مطابقة للاجزاء البارزة من جسمنا . ويوزع الضغط هنا ، على السطح السفلى للجسم بصورة منتظمة الى حد كاف ، بحيث لا تزيد القوة المسلطة على السنتمر المربع الواحد ، على عدة جرامات فقط . وليس هناك ما يدعو الى العجب ، اذا شعرنا بالراحة فى هذه الحالة .

ويمكن بسهولة ، التعبير عن هذا الاختلاف بالأرقام . ان مساحة جسم الانسان البالغ ، تساوى حوالى ٢ م^٢ ، او ٢٠٠٠٠ سم^٢ . لنفرض انه باستلقاءنا على السرير ،

تكون ربع مساحة جسمنا باجمعه مستندة اليه ، اى ٥ ر ٠ م^٢ او ٥٠٠٠ سم^٢ . ويبلغ الوزن الكلى لجسمنا (فى المعدل) حوالى ٦٠ كجم ، او ٦٠٠٠٠ جم . اى يؤثر على كل ستمتر مربع ١٢ جم فقط . وعندما نستلقى على الواح غير مفروشة ، فاننا نستند اليها باقسام صغيرة من جسمنا ، تبلغ مساحتها الكلية حوالى ١٠٠ سم^٢ لا غير . وبالتالي ، يكون الضغط المؤثر على كل ستمتر مربع ، مساوياً لنصف كيلوجرام ، لا لعدة عشرات من الجرامات . ان الفرق واضح ، ونحن نشعر بتأثيره على جسمنا عندما نقول « ان المكان غير مريح بتاتا » .

ولكن اكثر المضاجع خشونة ، قد لا تكون بالنسبة لنا خشنة بالمرة ، اذا كان الضغط موزعاً بانتظام على مساحة كبيرة . تصور انك استلقيت على طين لين ، وطبعت فيه شغل جسمك . وبعد نهوضك عن الطين ، دعه يجف (عندما يجف الطين فانه ينكمش بمقدار يتراوح بين ٥ و ١٠ ٪ ، ولنفرض ان ذلك لن يحدث) . وبعد ان يتصلب الطين ويصبح كالحجر ، محافظاً على الاثر الذى تركه فيه جسمك ، حاول ان تستلقى فوقه مرة ثانية لتملأ بجسمك ذلك القالب الحجرى . اذا فعلت ذلك ، ستشعر وكأنك تستلقى على سرير من الريش الناعم ، وسوف لن تحس بأية خشونة على الرغم من كونك مستلق على الحجر بالذات . ان سبب عدم شعورنا بخشونة المضجع ، يرجع فى هذه الحالة الى توزيع وزن الجسم على مساحة ارتكاز كبيرة جدا .

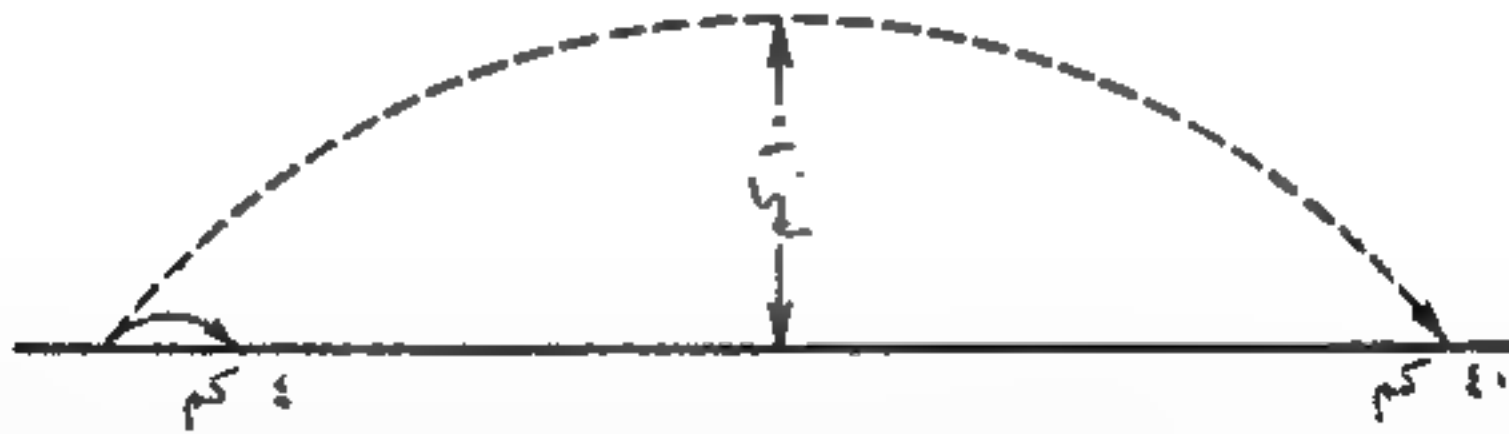
وكما هو معروف ، فاثناء انطلاق وهبوط السفن الفضائية ، يشعر رواد الفضاء بارهاق شديد ، وذلك لأن وزنهم يتضاعف بعدد من المرات يتراوح بين ١٠ و ١٤ مرة . ولكى يتحمل الطيارون الارهاق دون الحاق الاذى بأنفسهم ، تصنع مقاعدهم من مواد بلاستيكية خاصة ، بحيث يكون شكلها مطابقاً تماماً لجسم الرائد .

الفصل الثالث | مقاومة الوسط

الرصاصات والهواء

يعلم الجميع ان الهواء يعرقل انطلاق الرصاصات ولكن القليلين فقط ، بإمكانهم ان يتصوروا بوضوح ، مدى قوة تلك التأثيرات المعرقلة الناتجة عن الهواء . ومعظم الناس يحيل الى التفكير بان وسطا رقيقا كالهواء ، الذي لا نحس به عادة ، ليس باستطاعته عرقله الانطلاق السريع لرصاصات المسدس او البندقية باى قدر ملحوظ .

ولكننا اذا نظرنا الى الشكل ٢٨ ، لفهمنا بان الهواء يشكل عقبة خطيرة جدا بالنسبة للرصاصات . ان القوس الكبير الموضح فى الشكل المذكور ، يمثل الطريق الذى يمكن ان تقطعه الرصاصات فى حالة عدم وجود المحيط الجوى (الهواء) . وعندما تنطلق الرصاصات من سبطانة البندقية (بزاوية ٤٥ ° ، وبسرعة ابتدائية قدرها ٦٢٠ م / ثانية) ، فانها ترسم قوسا كبيرا جدا يبلغ ارتفاعه ١٠ كم ، وتقطع مسافة افقية قدرها ٤٠ كم . وفى الواقع ،

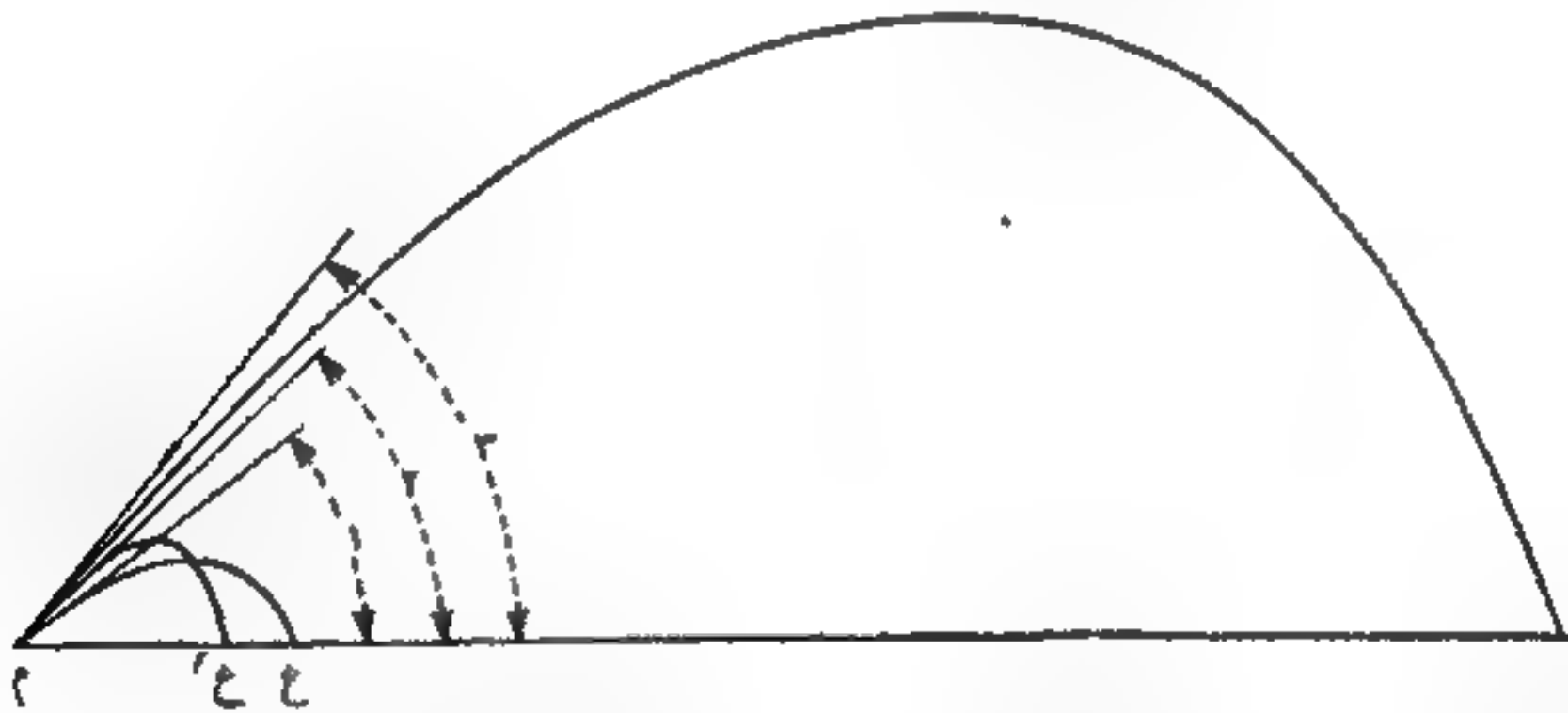


شكل ٢٨ : طيران الرصاصات فى الفراغ وفى الهواء . ان القوس المنقط الكبير يمثل الطريق الذى كانت ستسلكه الرصاصات فى حالة عدم وجود الهواء (المحيط الجوى) . اما القوس الصغير الى اليسار ، فيمثل المسار الحقيقى للرصاصات فى الهواء .

فان الرصاصة في الظروف المذكورة لا ترسم الا قوسا صغيرا نوعا ما ، ولا تقطع الا مسافة تقدر بـ ٤ كم . والقوس الصغير المبيّن في الشكل المذكور ايضا ، ليست له قيمة اذا ما قورن بالقوس الاول . تلك هي نتيجة مقاومة الهواء . اذا لم يكن ثمة هواء ، لأمكن رمي هدف على بعد ٤٠ كم .

الرمية البعيدة المدى

ان اول من استطاع رمي العدو على مسافة تقدر بمائة كيلومتر او اكثر ، هي المدفعية الالمانية . وذلك في نهاية الحرب العالمية الاولى (عام ١٩١٨) ؛ عندما نجحت القوات الجوية الفرنسية والانكليزية في القضاء على الغارات الجوية الالمانية . عندئذ اختارت هيئة اركان الحرب الالمانية وسيلة اخرى ، هي المدفعية ، لتدمير عاصمة فرنسا ، التي كانت تبعد عن الجبهة بما لا يقل عن ١١٠ كم . وكانت تلك الوسيلة جديدة بالمرّة ، لم يجربها احد من قبل ، توصل اليها رجال المدفعية الالمان صدفة . وكان ذلك عند الرمي من مدفع ثقيل بزاوية ارتفاع كبيرة ،



شكل ٢٩ : مراحل تغير مدى طيران القذيفة ، تبعا لتغيير زاوية ميل المدفع البعيد المدى . عند الزاوية ١ ، تسقط القذيفة في النقطة ع ، وعند الزاوية ٢ ، تسقط القذيفة في النقطة ع' ، أما عند الزاوية ٣ ، فيتضاعف مدى الرمي بمرات عديدة ، و ذلك لان القذيفة تمر اثناء طيرانها ، بطبقات الجو المخلخل .

حيث وجد فجأة ان القذيفة قطعت مسافة ٤٠ كم بدلا من ٢٠ كم . وظهر ان القذيفة المطلقة بقوس الى الاعلى ، بسرعة ابتدائية كبيرة ، تصل الى تلك الطبقات الجوية العليا المخلخلة ، حيث تصبح مقاومة الهواء ضعيفة جدا ؛ وفي مثل هذا الوسط الضعيف المقاومة ، تقطع القذيفة الجزء الاكبر من طريقها ، وبعد ذلك تهبط بتقوس على الارض . ويبين الشكل ٢٩ ، بوضوح ، مدى الاختلاف الكبير بين المسافات التي تقطعها القذائف عند تغيير زاوية الارتفاع .

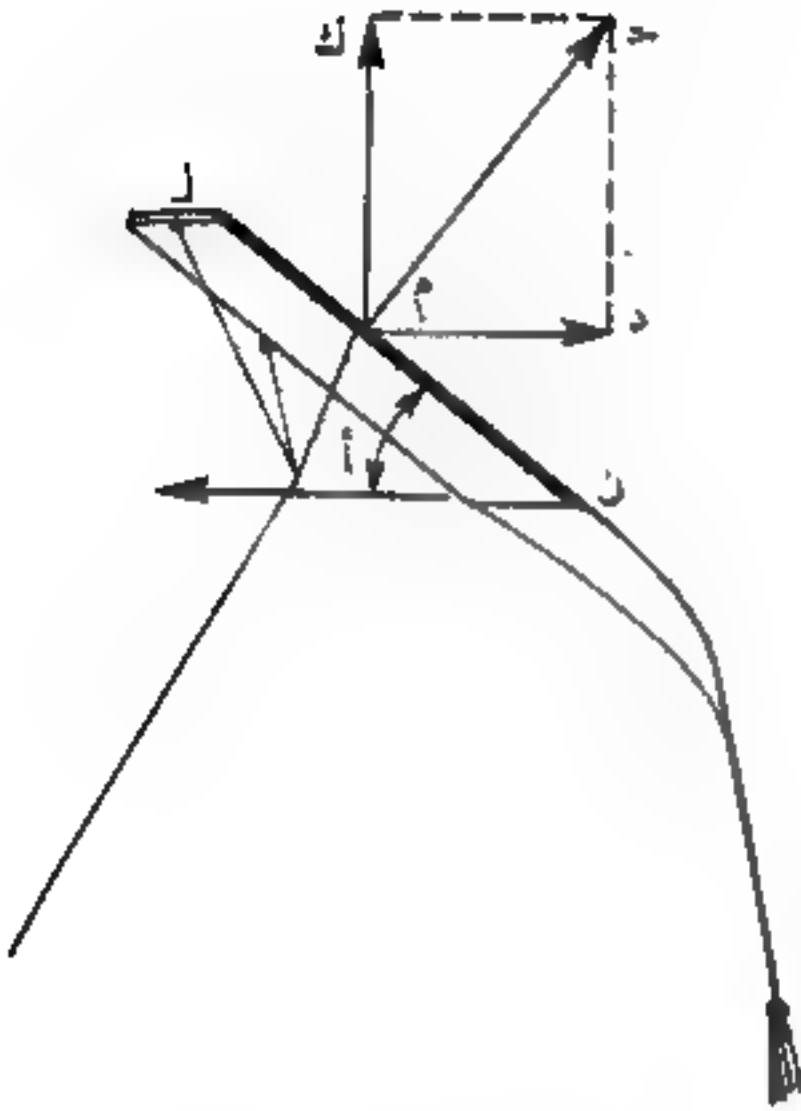
وقد استخدم الالمان هذا الاكتشاف في اساس تصميم مدفع الرمي البعيد المدى لقصف مدينة باريس على بعد ١١٥ كم . لقد تم صنع المدفع بنجاح ، بحيث استطاع الالمان طوال صيف عام ١٩١٨ ، ان ينظروا باريس بما يزيد على ٣٠٠ قذيفة . وقد عرف عن ذلك المدفع بعدئذ .

انه كان يتكون من سبطانة فولاذية ضخمة يبلغ طولها ٣٤ م ، وسمكها متر واحد . اما سمك جدران المغلاق فقد بلغ ٤٠ سم . وكان المدفع باكملة وزن ٧٥٠ طنا ، وبلغ طول قذيفته التي تزن ١٢٠ كجم ، مترا واحدا وسمكها ٢١ سم . وقد بلغت كمية البارود المستخدم في العبوة الواحدة ١٥٠ كجم ، والضغط الناتج بداخلها يساوي ٥٠٠٠ ضغط جوى ، وهو الذى جعل القذيفة تنطلق بسرعة ابتدائية قدرها ٢٠٠٠ م/ثانية . وكان الرمي يتم بزاوية ارتفاع قدرها ٥٢ ° ، ورسمت القذيفة قوسا كبيرا جدا ، بلغ ارتفاع اعلى نقطة فيه ٤٠ كم عن سطح الارض ، اى توغلت فى الستراتوسفير (طبقة من المحيط الجوى) . لقد قطعت القذيفة المسافة من الجبهة الى مدينة باريس - ١١٥ كم - بزمن قدره ٣٥ دقيقة ، استغرق تحليق القذيفة فى الستراتوسفير دقيقتين منها .

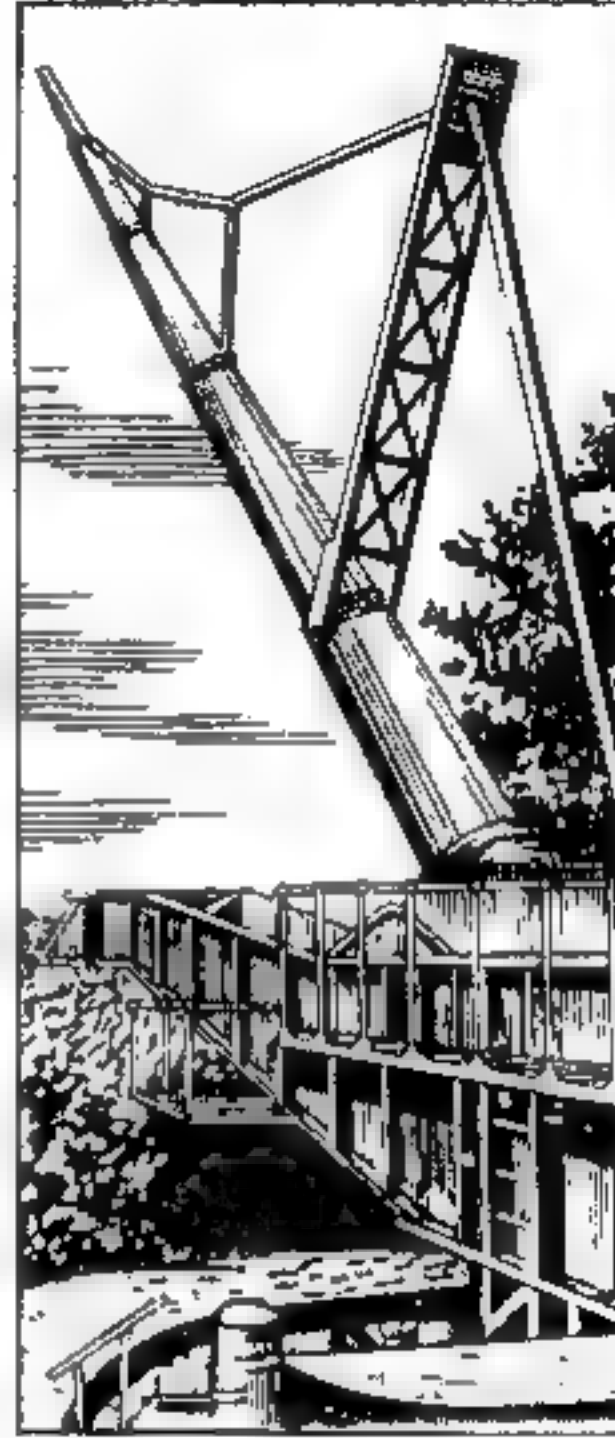
هكذا بدا اول مدفع للرمي البعيد المدى وكان اساس تطور المدفعية البعيدة المدى الحديثة . وكلما زادت السرعة الابتدائية للرصاصة او القذيفة ، كلما زادت معها مقاومة الهواء . اذ انها لا تزداد طرديا مع السرعة ، بل اكثر من ذلك ، اى تزداد طرديا مع مربع السرعة او مكعب السرعة .. وهكذا ، تبعا لمقدار تلك السرعة .

لماذا ترتفع الطائرة الورقية الى الاعلى

هل تعرف لماذا ترتفع الطائرة الورقية الى الاعلى عندما تجرها من الخيط الى الامام ؟
اذا كنت تعرف ذلك ، فانك تعرف ايضا لماذا تطير الطائرات ، ولماذا تطير في



شكل ٣١ : القوى المؤثرة على
طيارة الورق .



شكل ٣٠ : منظر
خارجي للسدفع الالمانى المدلاق .

الهواء بدور بعض النباتات ، وسيمكنك الى حد ما ان تعلق اسباب الحركات الغريبة
لسلاح النُوميرنج* ، وذلك لان كل هذه الظواهر تخضع لنظام واحد . ان الهواء الذي

* سلاح استرالي خشبي قديم يرمى به فيعود الى قاذفه (المرب) :

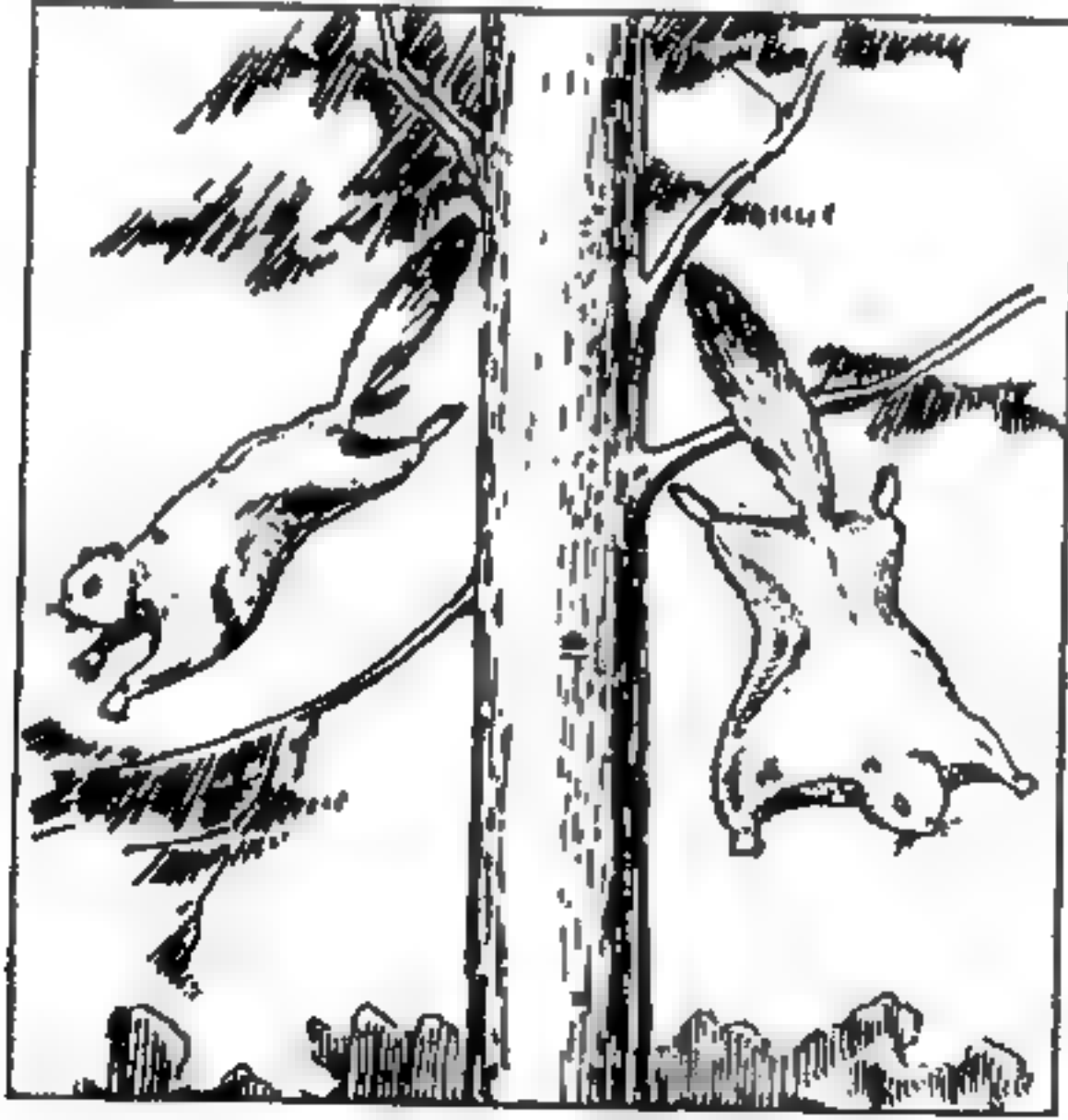
يشكل عقة كبيرة امام انطلاق الرصاصة والقذيفة ، يساعد بالذات ، لا على طيران بذور الاسفندان الخفيفة او الطيارة الورقية فحسب ، بل ويساعد كذلك على طيران الطائرة الثقيلة المحملة بعشرات الركاب .

ولكى نشرح سبب ارتفاع الطيارة الورقية الى الجو ، سنلجأ الى استخدام الرسم التخطيطى المبسط . لنفرض ان الخط ل ن (شكل ٣١) يمثل المقطع العرضى للطيارة الورقية . وعندما نطلق الطيارة الورقية ونسحبها من الخيط ، فانها تتحرك براوية مع الافق بسبب ثقل ذيلها . ولنفرض انها تتحرك من اليمين الى اليسار . نرمز الى زاوية ميل مستوى الطيارة الورقية مع الافق بالحرف أ . والآن لندرس القوى المؤثرة على الطيارة الورقية اثناء حركتها . ان الهواء بطبيعة الحال ، يجب ان يعرقل حركتها ويضغط عليها قليلا . وهذا الضغط موضح فى الشكل ٣١ بالسهم م ج . ولما كان الضغط الناتج من الهواء يؤثر على السطح دائما بصورة عمودية ، لذا رسم الخط م ج عموديا على الخط ل ن . ويمكن تحليل القوة م ج الى مركبتين ، وذلك برسم ما يسمى بـ متموازى اضلاع القوى ، فنحصل على قوتين هما م د ، م ك عوضا عن القوة م ج . ان القوة م د تدفع الطيارة الورقية الى الوراء ، وبالتالي ، تقلل من سرعتها الابتدائية . اما القوة الاخرى م ك ، فتسحب الطيارة الى الاعلى ، وتقلل من وزنها . واذا كانت هذه القوة كبيرة الى حد كاف ، فانها تستطيع التغلب على وزن الطيارة وترفعها . وهذا هو سبب ارتفاع الطيارة الورقية الى الاعلى عندما سحبها من الخيط الى الامام .

والطائرة العادية ، تشبه من حيث المبدأ الطيارة الورقية ، وقد استعير فيها عن القوة المحركة اليدوية ، بالقوة المحركة لارفاس او المحرك النفث ، وهى القوة التى تجعل الطائرة تتحرك الى الامام ، وبالتالي كما فى حالة الطيارة الورقية ، تحملها على الارتفاع الى الاعلى . لقد شرحنا هذه الظاهرة هنا شرحا تقريبا ، وهناك عوامل اخرى تساعد على ارتفاع الطائرة فى الجو ، سنأتى على ذكرها فى الكتاب الثانى من « الفيزياء المسلية » .

طائرات شراعية حية

ان الطائرات ، كما رأينا ، لم تصنع على هيئة الطيور مطلقا ، ولكنها على الارجح صنعت على هيئة السنجاب الطائر او السمك الطائر . وبالمناسبة ، فان الحيوانات المذكورة اعلاه ، لا تستخدم اجنحتها الغشائية لغرض الارتفاع الى الاعلى ، بل تستخدمها لغرض واحد ، هو القيام بقفزات كبيرة ، اى « الهبوط الهادف » كما يسمى بلغة الطيارين . ان القوة م ك (شكل ٣١) عند هذه الحيوانات ، غير كافية لموازنة ثقل الجسم موازنة تامة ، فهي تقلل من الوزن فقط ، وبذلك تساعد الحيوانات على القيام بقفزات كبيرة جدا من اماكن مرتفعة (شكل ٣٢) . ان السنجاب الطائر يقفز لمسافة تتراوح بين ٢٠ و ٣٠ م من قمة احدى الاشجار الى الاغصان السفلى لشجرة اخرى . ويوجد فى الهند



شكل ٣٢ : السنجاب الطائر اثناء تحليقه فى الهواء . ويستطيع هذا السنجاب ان يقفز من مكان مرتفع الى مسافة تتراوح بين ٢٠ - ٣٠ م .

وسيلان نوع كبير جدا من السنجاب الطائر - تجوان - وهو بحجم القطة ؛ وعندما ينشر « جناحه » ، يصل طوله ، اى طول « الجناح » ، الى نصف متر . ان هذه الابعاد الكبيرة للاجنحة الغشائية ، تساعد الحيوان على القفز لمسافة ٥٠ م ، على الرغم من وزنه الكبير نوعا ما .

بالونات طائرة من النباتات

ان النباتات بدورها ، كثيرا ما تلجأ الى الطيران الشراعى ، وخاصة لغرض نشر ثمارها وبذورها . وهناك بذور وثمار كثيرة مزودة اما بحزم من الشعيرات (كما فى نباتات الهندباء البرية وذقن المعزة والقطن) ، التى تعمل مثل المظلة (البراشوت) ، او مزودة بما يشبه الاجنحة وغير ذلك . ويمكن ملاحظة مثل هذه الطائرات الشراعية النباتية فى كل من النباتات التالية : الصنوبر والاسفندان والدردار والبتولا والبقيصا والزيزفون وانواع كثيرة من النباتات ذات الازهار الخيمية وغيرها .

وقد كتب كيرنير فون ماريلون حول ذلك فى كتابه المعنون « حياة النباتات » ، ما

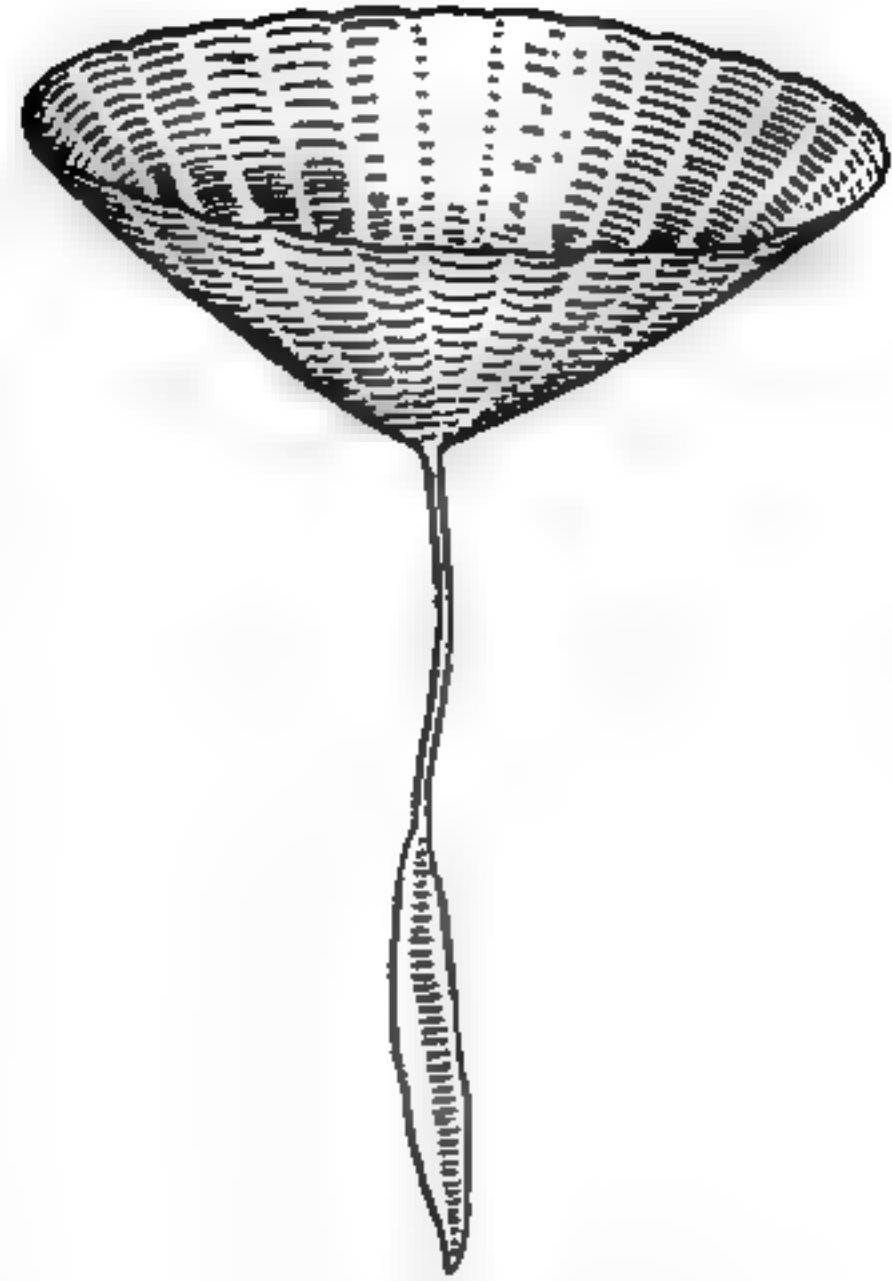
يلى :

« فى الايام الصحوه عندما تكون الرياح هادئة ، يرتفع الكثير من البذور والثمار بتيار الهواء العمودى ، الى ارتفاع شاهق ، ولكن بعد غياب الشمس تهبط عادة من جديد ، فى مكان لا يبعد كثيرا عن المكان الاول . وهذا النوع من الطيران لا يكون مهما لانتشار النباتات على مساحات واسعة ، بقدر ما هو مهم بالنسبة لدخولها واستقرارها فوق الافاريز وفى شقوق المنحدرات الشديدة الميل والصخور الرأسية ، حيث لا تستطيع الوصول الى مثل هذه الاماكن بطريقة اخرى عدا الطيران . اما تيارات الهواء المتحركة بصورة افقية ، فيمكنها حمل البذور والثمار التى تحوم فى الجو ، الى مسافات بعيدة جدا .

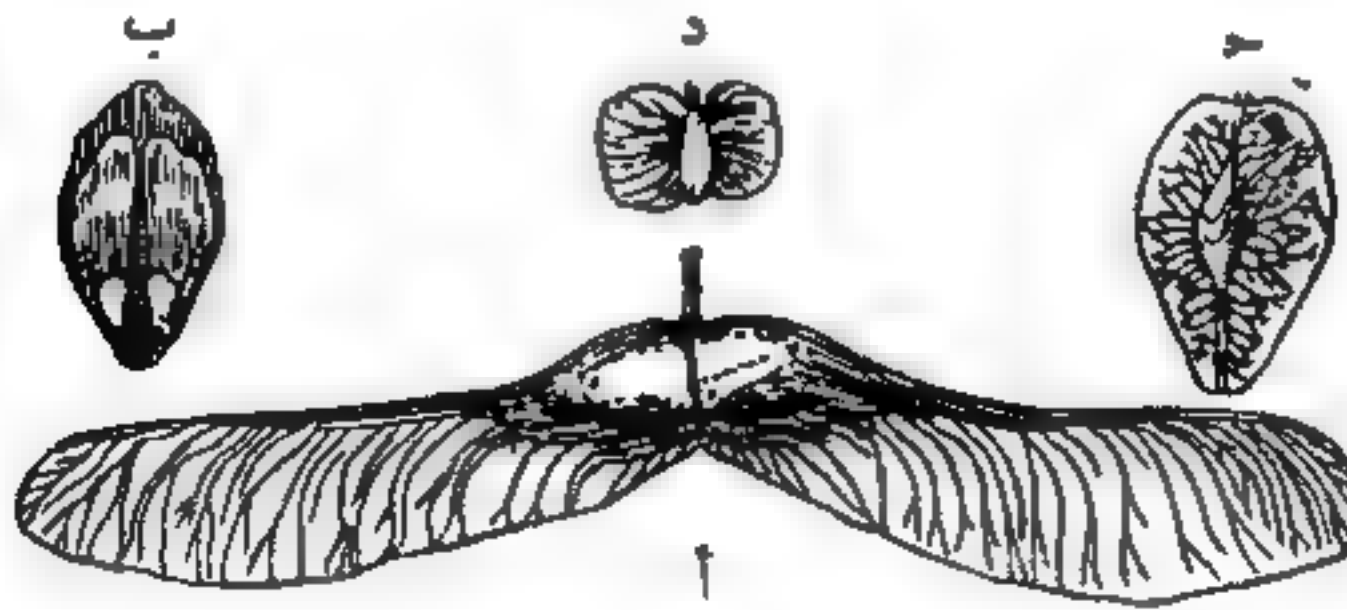
وفى بعض النباتات ، تبقى المظلات والاجنحة متصلة بالبذور اثناء الطيران فقط . ان بذور النبات المسمى برأس القنفذ (نبات شائك) ، تسبح فى الهواء بشكل هادئ ، ولكنها سرعان ما تنفصل عن مظلاتها وتسقط على الارض عندما تصدم بحائل ما . وهذا يوضح سبب كثرة وجود بذور رأس القنفذ قرب الجدران والاسوار . وفى

حالات اخرى ، تبقى البذور دائما متصلة
بظلاتها .

ويوضح الشكلان ٣٣ و ٣٤ ، بعض
الثمار والبذور المزودة بأشعة للطيران .
والطائرات الشراعية النباتية ،
اكثر دقة وكمالا من الطائرات الشراعية
التي يصنعها الانسان من عدة نواح .
فهي ترفع حملا كبيرا جدا بالمقارنة مع
وزنها الذاتي . وبالإضافة الى ذلك ، فان
هذه الطائرة النباتية تمتاز بالاستقرار
الاونومي : اذا اديرت بذرة نبات الياسمين
الهندي ، فانها تعود ذاتيا الى وضعها
الاول بجانبها المحذب الى الاسفل ؛ واذا
صادفت البذرة اثناء طيرانها حاجزا ما ،
فانها لا تفقد توازنها ولا تسقط ، بل تهبط
الى الاسفل بسلاسة .



شكل ٣٣ : ثمرة نبات « ذقن
لعمزة » .



شكل ٣٤ : البذور الطائرة لبعض النباتات : أ - بذور اشجار الاسفندان (القيقب) ، ب - بذور
اشجار الصنوبر ، ج - بذور اشجار البقيصا (الدردار) ، د - بذور اشجار البتولا .

قفزة المظلي مع تعويق فتح المظلة (القفزة المعوقة)

تعود بنا الذاكرة هنا الى القفزات البطولية التي قام بها ابطال رياضة القفز بالمظلات في الاتحاد السوفيتي ، عندما القوا بانفسهم من ارتفاع يصل الى ١٠ كم تقريبا ، دون ان يفتحوا مظلاتهم الا بعد ان اصبحوا على ارتفاع لا يتجاوز مئات الامتار عن سطح الارض . (لقد قام المظليون السوفييت عام ١٩٦٣ بالقفز من ارتفاع ٢٥ كم) .

ويعتقد الكثير من الناس ، ان الرياضى عندما يسقط كالحجر دون ان يفتح مظلته ، فانه يهبط الى الاسفل كما يحدث في الفراغ . ولو كان الامر كذلك - اى لو سقط الرياضى في الهواء كما يسقط في الفراغ - لاستغرقت القفزة المعوقة زمنا يقل بكثير عما هو عليه في الواقع ، ولكانت السرعة الناتجة في النهاية كبيرة للغاية .

ولكن مقاومة الهواء تعرقل زيادة السرعة . ان سرعة جسم المظلي اثناء القفزة المعوقة ، تزداد فقط خلال الثانى العشر الاولى ، لمسافة تساوى بضع مئات من الامتار . وتزداد مقاومة الهواء بزيادة السرعة ، وتصل زيادة المقاومة الى حد كبير ، بحيث سرعان ما تحل اللحظة التي تصبح فيها السرعة ثابتة ، ويصبح تسارع الجسم منتظما .

ويمكن بواسطة الحساب ان نوضح الملامح العامة لشكل القفزة المعوقة من وجهة نظر الميكانيكا . ان تسارع جسم المظلي عند هبوطه ، يستمر لفترة الاثنى عشرة ثانية الاولى فقط ، او اقل من ذلك بعض الشيء ، تبعا لوزنه . ويستطيع خلال الثانى العشر الاولى ، ان يهبط لمسافة تتراوح بين ٤٠٠ - ٤٥٠ م ، ويكتسب سرعة تبلغ حوالى ٥٠ م/ثانية . اما كل ما يتبقى من الطريق حتى لحظة انفتاح المظلة ، فيقطعه الجسم بحركة منتظمة بالسرعة السابقة .

وبنفس الطريقة تقريبا تتساقط قطرات المطر . ولكن الاختلاف يكمن في شيء واحد فقط ، وهو ان المرحلة الاولى للسقوط ، عندما تكون السرعة بعد ، فى حالة ازدياد ، لا تستغرق بالنسبة لقطرة المطر الا حوالى ثانية واحدة او حتى اقل من ذلك . ولهذا السبب ، لا تكون السرعة النهائية لقطرة المطر كبيرة جدا ، كما هى عليه فى حالة القفزة المعوقة للمظلي . اذ انها تتراوح بين ٢ - ٧ م/ثانية تبعا لحجم القطرة .

البوميرنج

ان هذا السلاح الغريب ، الذى يعتبر من اتقن المنتجات التكنيكية التى حققها الانسان البدائى ، حير العلماء لمدة طويلة من الزمن . وفى الحقيقة ، فان الاشكال الغريبة المعقدة ، التى يرسمها البوميرنج فى الهواء (شكل ٣٥) ، تحير كل الناس .

اما فى الوقت الحاضر ، فقد شرحت نظرية تحليق البوميرنج شرحا وافيا ، وبذلك زالت الدهشة التى تملكت عقول الناس . وسوف لن نتمق الآن فى بحث هذه التفاصيل الطريفة ، بل سنكتفى بالقول ، بان هذه الخطوط العجيبة التى يرسمها البوميرنج اثناء تحليقه ، ما هى الا نتيجة لتفاعل ثلاثة عوامل هى : (١) الرمية الابتدائية ، (٢) دوران البوميرنج ، (٣) مقاومة الهواء .



شكل ٣٥ : الطريقة التى يستخدم بها الاسترالى سلاح البوميرنج فى الصيد ، للقبضاء على فريسته من وراء حاجز ما . والخط المنقط يبين الطريق الذى يسلكه البوميرنج عندما يرمى ولا يصيب الهدف .

ان الاسترالى يستطيع بالغريزة ان يوحد بين هذه العوامل الثلاثة . اذ انه يغير زاوية ميل البوميرنج وقوة الرمية واتجاهها ، بمهارة ، للحصول على النتيجة المطلوبة . وعلى اية حال ، فباستطاعة كل منا ان يتعلم رمى البوميرنج نوعا ما .

ولكى نتدرب على ذلك فى داخل الغرف ، يجب الاكتفاء ببوميرنج ورقى ، يمكن قصه من الورق المقوى على الصورة الميينة فى الشكل ٣٦ ، بحيث يبلغ طول كل فرع حوالى ٥ سم ، وعرضه اقل من ١ سم بقليل . تثبت هذا البوميرنج الورقى تحت ظفر الابهام ، وانقفه بأصبعك الى الامام بحيث يتجه قليلا الى الاعلى . سيطير البوميرنج لمسافة ٥ م ، ويرسم بسلاسة ، منحنى ، يكون احيانا معقدًا جدا ، ولذا لم يصطدم بحاجز ما فى الغرفة ، فانه يعود ليسقط تحت قدميك .

وتكون التجربة اكثر نجاحا ، اذا كان شكل البوميرنج والابعاد الميينة فى الشكل ٣٧ ، كما هى عليها فى الطبيعة . ومن المفيد ان نبرم فرعى البوميرنج ، كما هو مبين فى الشكل ٣٧ فى الاسفل . ويمكن جعل مثل هذا البوميرنج ، بعد تدريب قليل ، ان يرسم فى الهواء منحنيات معقدة ويعود الى المحل الذى انطلق منه .



شكل ٣٧ : صورة اخرى للبوميرنج الورقى (بالعجم الطبيعى) .



شكل ٣٦ : البوميرنج الورقى وطريقة رمية .

شكل ٣٨ : صورة لمحارب مصرى قديم يرمى سلاح البوميرنج .



واخيرا ، نلاحظ ان البوميرنج لا يمثل مطلقا ،
كما يفكر البعض عادة ، سلاحا ينفرد به الاستراليون
وحدهم . انه يستخدم فى مناطق متعددة من الهند ،
وكما يتبين من بقايا الرسوم الجدارية الاثرية ، فقد
كان البوميرنج فى وقت ما سلاحا مألوفاً لدى الجنود
الاشوريين (شكل ٣٨) . وقد اشتهر البوميرنج كذلك فى
مصر القديمة وفى النوبة . اما الشيء الوحيد الذى انفرد به
الاستراليون فى هذا المجال ، فهو اعطاء البوميرنج شكل
المنحنى الملولب . ولهذا السبب ، يقوم البوميرنج الاسترالى اثناء انطلاقه برسم منحنيات
معقدة ، وعندما لا يصيب الهدف ، يعود مرة اخرى ليستقر بين قدمي راميهِ .

الدوران « المحرك الدائم الحركة »

الفصل الرابع

كيف نميّز البيضة المسلوقة عن النيئة ؟

كيف نتصرف اذا اردنا ان نعرف فيما اذا كانت البيضة مسلوقة ام نيئة ، بدون ان نكسر قشرتها ؟ ان معرفة علم الميكانيكا تساعدنا على الخروج من هذا المأزق البسيط بنجاح .

وتتلخص المسألة في ان دوران البيضة المسلوقة يختلف عن دوران البيضة النيئة . وبذلك يمكن التوصل الى حل هذه المسألة . نضع البيضة المراد فحصها على طبق مسطح ونحركها باصبعينا حركة دورانية (شكل ٣٩) . وفي هذه الحالة ، فان البيضة المسلوقة (وخاصة الجامدة) تدور اسرع كثيرا من البيضة النيئة ولمدة اطول . اما البيضة النيئة ، فمن الصعب ان نجعلها تدور ، في الوقت الذي تدور فيه البيضة الجامدة



شكل ٤٠ : يمكن تمييز البيضة المسلوقة عن البيضة النيئة وذلك بتدوير اليفتين بعد تعليقهما بخيطين .



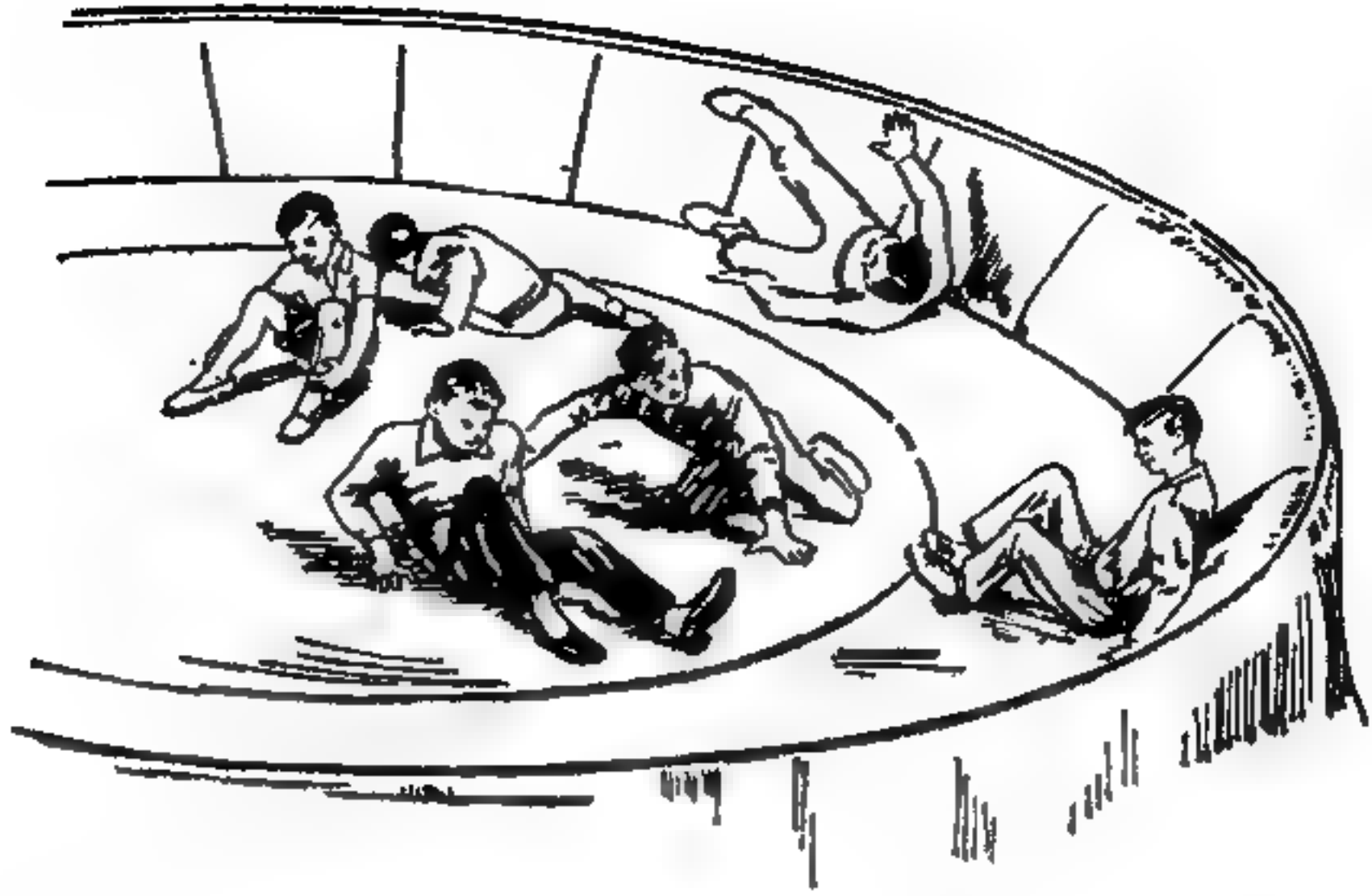
شكل ٣٩ : طريقة تدوير (تدويم) البيضة .

بسرعة كبيرة ، بحيث تتحول ملامحها بالنسبة للعين الى مجسم القطع الناقص ، بلون ابيض وشكل مسطح ، حتى انها قد تقف بالذات على طرفها المدبب .
ان سبب هذه الظواهر يتلخص في ان البيضة الجامدة تدور مثل الجسم المصمت برّمته . اما في البيضة النيئة ، فان السوائل الموجودة في داخلها لا تبدأ بالحركة الدورانية مباشرة . وبسبب قصورها الذاتي ، تؤخر حركة القشرة الصلبة ، وتكون بدت قد قامت بدور الكابح .

وكذلك يختلف تصرف البيضة المسلوقة عن تصرف البيضة النيئة في حالة ايقاف الدوران . فاذا لمسنا البيضة المسلوقة باصبعنا وهي في حالة دوران ، لتوقفت في الحال . اما البيضة النيئة ، فلا تتوقف في الحال ، بل تدور قليلا حتى بعد رفع الاصبع عنها . ان هذا يحدث بسبب القصور الذاتي ايضا . وذلك لان الكتلة السائلة الموجودة في داخل البيضة النيئة ، تستمر في دورانها بعد ان تصبح القشرة الصلبة ساكنة . اما محتويات البيضة المسلوقة ، فتتوقف في نفس اللحظة التي تتوقف فيها القشرة الخارجية . ويمكن اجراء مثل هذه التجربة بطريقة اخرى . ثبت حلقتين مطاطيتين طوليا ، حول بيضتين ، احدهما نيئة والثانية مسلوقة ، وعلقهما بخيطين متساويين في الطول (شكل ٤٠) . ابرم كلا الخيطين عددا متساويا من المرات ، ثم اتركهما ، فيظهر الفرق حالا بين البيضة المسلوقة والبيضة النيئة . بعودة البيضة المسلوقة الى وضعها الابتدائي ، تبدأ تحت تأثير القصور الذاتي ببرم الخيط في الاتجاه المعاكس ، ثم تعيد برمه مرة اخرى ، وهكذا الى ان يقل عدد الدورات بالتدريج . اما البيضة النيئة فانها تدور مرة فآخري ، ثم تتوقف قبل توقف البيضة المسلوقة بكثير . وذلك لان السوائل الموجودة في داخلها تكبح حركتها .

الدوامة المضحكة

افتح مظلتك الشمسية وثبت نهايتها في الارض ودورها من مقبضها . سوف لا تجد اية صعوبة في تدوير المظلة بسرعة كبيرة . والآن ، اقدف كرة او قطعة مكرمشة



شكل ٤١ : «الدوامة المضحكة» . ان الناس الموجودين على هذه الدوامة الدوارة يطرحون جانباً نحو اطرافها .

من الورق الى داخل المظلة ، سترى ان الشيء الذى قذفته ، لن يستقر داخل المظلة بل يطرد منها ، نتيجة لوجود ما يسمى خطأ بـ « القوة الطاردة المركزية » والتي ما هي فى الحقيقة الا قوة القصور الذاتى . ولا تطرد الكرة باتجاه نصف القطر ، بل باتجاه ملامس لمحيط الحركة الدائرية (الدورانية) .

وعلى اساس هذا التأثير الناتج من الحركة الدورانية ، تم صنع وسيلة اللهو الممتعة المسماة بـ « الدوامة المضحكة » (شكل ٤١) ، والتي يمكن مشاهدتها مثلاً ، فى حدائق الراحة فى موسكو . وهنا يستطيع الزوار ان يعرضوا انفسهم لتأثير قوة القصور الذاتى . توجد هناك رقعة دائرية من الارض ، يستطيع الزوار ان يقفوا او يجلسوا او يتمددوا عليها ، كل حسب رغبته . ثم يأخذ المحرك المخفى تحت تلك الرقعة من الارض ، بتدويرها بالقرب من المحور الرأسى بصورة سلسلة وبسرعة بطيئة فى البداية ،

ثم تزداد السرعة بعد ذلك بالتدريج . عندئذ يبدأ جميع الناس الموجودين فوق الاطار الدوار ، بالانحدار زحفا نحو محيطها ، وذلك بتأثير القصور الذاتى . ان حركة الركاب هذه تكون فى البداية صعبة الملاحظة ، ولكن بقدر ابتعاد الركاب عن المركز ووصولهم الى المحيط اقرب فاقرب ، بقدر ما تصبح سرعة الحركة ، وبالتالى القصور الذاتى لها ، اكثر وضوحا من حيث تأثيرهما . ولن تستطيع اية قوة يبذلها الشخص ، ان تجعله يبقى فى مكانه ، ويلقى بالركاب بعيدا عن « الدوامة المضحكة » :

والكرة الارضية فى الحقيقة تشبه « الدوامة المضحكة » مع فارق واحد ، هو ان ابعادها متناهية فى الكبر . والارض بطبيعة الحال ، لا تقذف بنا عن سطحها ، ولكنها مع ذلك تقلل من وزننا . وعند خط الاستواء ، حيث تكون سرعة دوران الارض اكبر ما يمكن ، يصل نقصان الوزن الناتج عن السبب المذكور الى $\frac{1}{16}$ من الوزن الكلى . واذا اضيف الى ذلك سبب آخر (انضغاط الارض) ، فان وزن اى جسم عند خط الاستواء ، يقل بصورة عامة بمقدار نصف فى المائة (اى بمقدار $\frac{1}{20}$) . وهكذا ، فان وزن جسم الشخص البالغ ، يقل عند خط الاستواء بحوالى ٣٠٠ جم ، عما هو عليه عند القطب .

ذوايخ الحبر

لنأخذ قرصا من الورق المقوى الأملس الأبيض اللون ، ونثقبه من المركز بعود ثقاب حاد الطرف ، يبقى ثابتا فيه ، فنحصل بذلك على دوامة صغيرة ، مبينة فى الشكل ٤٢ الى اليسار ، بابعادها الطبيعية . ولا نحتاج الى لباقة خاصة لكى نجعل هذه الدوامة تدور اذ يكفى ان نبرم عود الثقاب بين اصابعنا ونطرح الدوامة بسرعة على سطح مصقول . ويمكننا بهذه الدوامة اجراء تجربة مثالية جدا . قبل البدء بتلوير الدوامة ، نضع فوق سطح القرص عدة قطرات صغيرة من الحبر ، ونجعل الدوامة تدور قبل ان يجف الحبر . وعندما تكف



شكل ٤٢ : كيفية انسياب قطرات الحبر على قرص الورق الدوار .

الدوامية عن الدوران ، نرى ان كل قطرة من الحبر قد جرت في خط حلزوني ، وان جميع هذه المخطوطات الحلزونية تكون مع بعضها شكلا يشبه شكل العاصفة . وهذا التشابه ليس وليد الصدفة . فماذا تعني خطوط الحبر الحلزونية المرسومة على سطح القرص ؟ انها آثار حركة قطرات الحبر . ان القطرة ايضا ، تتعرض لنفس القوة التي يتعرض لها الانسان الموجود فوق سطح القرص الدوار « الدوامية المضحكة » . فعندما تراح عن المركز بتأثير القوة الطاردة المركزية ، تصل الى تلك المواضع من القرص ، التي تكون سرعة دورانها اكبر من سرعة القطرة بالذات . وفي هذه المواضع يتزلق القرص من تحت القطرة ويسبقها . ويتم ذلك ، كما لو كانت القطرة قد تأخرت عن القرص وتراجعت الى مؤخرة نصف القطر (باتجاه المحيط) . ولهذا السبب ، يكون طريقها متعرجا . ويبدو اثر هذه الحركة المتعرجة ، واضحا على سطح القرص . ويحدث نفس الشيء لتيارات الهواء المنطلقة من اماكن الضغط الجوي المرتفع (في « الاعاصير المضادة ») او المتجهة نحو اماكن الضغط الجوي المنخفض (في « الاعاصير الحلزونية ») .

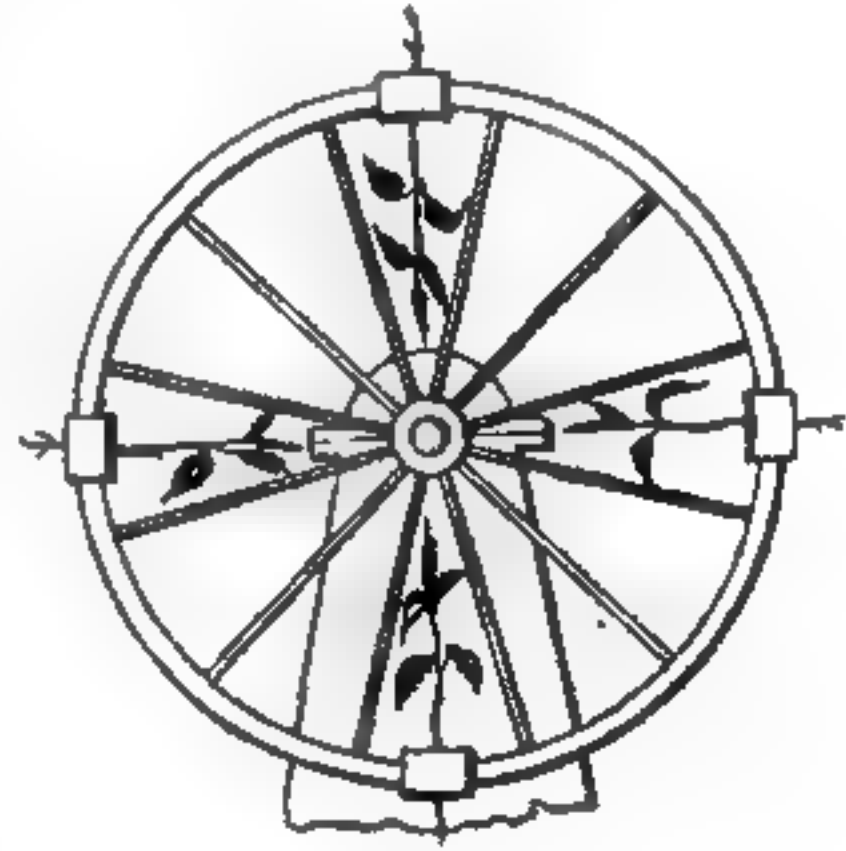
ان خطوط الحبر الحلزونية هي صورة مصغرة لهذه الزوايا الهوائية الضخمة .

النباتات المخدوعة

عندما يكون الدوران سريعا ، قد تصل القوة الطاردة المركزية الى حد كبير قد يفوق قوة الجاذبية . والتجربة الممتعة التالية ، تبين مدى ضخامة القوة الطاردة ، التي تنتج عند دوران الدولاب العادى .

اتنا نعرف ان النباتات الحديثة العمر ، تواجه سيقانها فى اتجاه معاكس لقوة الجاذبية الارضية ، اى باختصار ، تنمو الى الاعلى . ولكن ، لنجعل البذور تطل ، عند وجودها على اطار عجلة سريعة الدوران ، كما فعل ذلك لأول مرة ، عالم النبات الانكليزى نايت قبل اكثر من مائة عام مضت . سترى شيئا مذهشا : سوف تنجح جذور الزريعة الى الخارج ، والسيقان الصغيرة الى الداخل بمحاذاة انصاف اقطار الدولاب (شكل ٤٣).

لقد خدعنا النبات تماما . اذ اتنا اثرنا عليه بقوة اخرى غير قوة الجاذبية الارضية ، وهى متجهة من مركز الدولاب الى الخارج ولما كانت الزريعة تنمو دائما عكس اتجاه الجاذبية ، فانها فى هذه الحالة قد اتجهت الى داخل الدولاب من الاطار الى المحور (المركز) . وهكذا ظهر ان الجاذبية الاصطناعية اقوى من الجاذبية الارضية الحقيقية * ، وقد نما النبات الحديث العمر تحت تأثيرها .



شكل ٤٣ : بنور الفول النامية على حطار دولاب دوار . ان سيقان النبات متجهة نحو المحور ، اما الجذور فمتجهة الى الخارج .

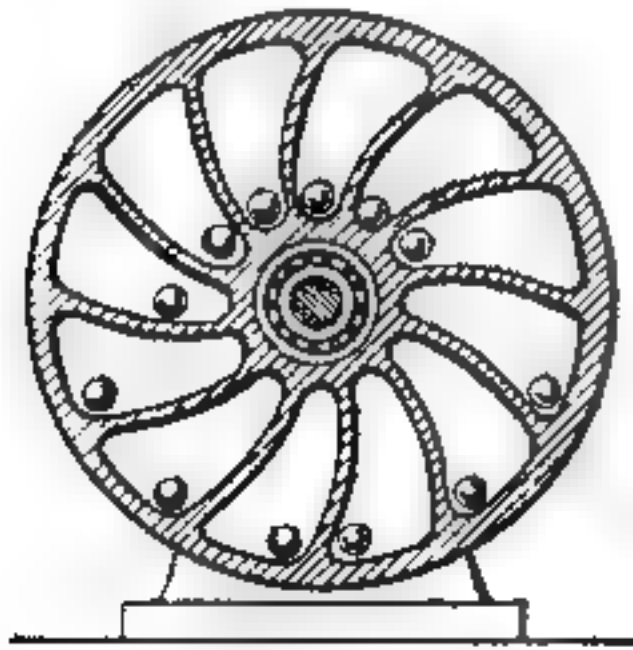
* وبالمناسبة فان نظرية الجاذبية الحديثة ، لا تتعارض مطلقا ، من حيث المبدأ ، مع ما جاء فى هذه التجربة من ايضاحات .

وفي المستقبل ، عندما تبدأ الرحلات الفضائية البعيدة الى كواكب اخرى من المنظومة الشمسية ، سوف يتم بموجب هذا المبدأ انشاء مستنبتات زجاجية على السفن الفضائية لتأمين الغذاء لملاحى تلك السفن . واول من اقترح فكرة المستنبتات الزجاجية الفضائية عام ١٩٣٣ ، هو مؤسس علم الملاحة الفضائية ، العالم الروسى العظيم تسيلوكوفسكى

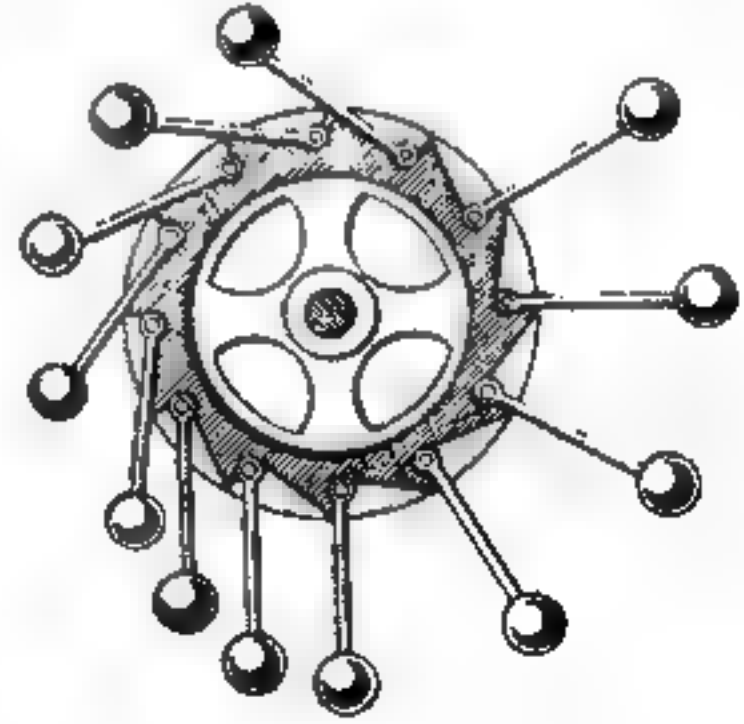
«المحركات الدائمة الحركة»

كثيرا ما يتحدث الناس عن كل من «المحرك الدائم الحركة» و«الحركة الدائمة» بالمعنيين الحرفى والمجازى . ولكن الجميع لا يدركون المعنى الحقيقى لما يراد بالتعبيرين المذكورين .

ان المحرك الدائم الحركة ، ما هو الا آلة وهمية ، تتحرك بنفسها حركة دائمية ، وتقوم بالاضافة الى ذلك ، بانجاز بعض الاعمال الاخرى النافعة (كرفع الاحمال مثلا) . ولم يستطع احد ان يصنع مثل هذه الآلة ، مع ان محاولات اختراعها قد بدأت منذ زمن بعيد . وقد أدى عقم تلك المحاولات ، الى الاعتقاد الراسخ باستحالة وجود المحرك



شكل ٤٥ : محرك «دائم الحركة»
يحتوى على كريات تتدحرج فى داخله .



شكل ٤٤ : عجلة ذات حركة دائمية
موهومة ، ابتكرت فى القرون الوسطى .

الدائم الحركة ، والى وضع قانون حفظ الطاقة -- اساس العلم الحديث . اما فيما يتعلق بالمحرك الدائم الحركة ، فيقصد به تلك الحركة الدائمة التي لا تنتج عملا .

ويوضح الشكل ٤٤ ، الآلة الذاتية الحركة ، الوهمية -- احد اقدم التصميمات التي وضعت للمحرك الدائم الحركة ، الذى يحاول بعض المتعصبين الفاشلين فى عصرنا هذا ، ان يتحدثوا احيانا عن اعادة النظر فيه . لقد ثبتت حول محيط الدولاب قضبان قلابية ، وضعت فى اطرافها الحرة اثقال . وعند اى وضع للدولاب ، تصبح الاثقال الموجودة فى جهته اليمنى اكثر اندفاعا عن المركز من الاثقال الموجودة فى الجهة اليسرى . وبالتالي ، يتحتم على النصف الايمن دائما ان يسحب وراءه النصف الايسر ، وبذلك يجبر الدولاب على الدوران . يعنى ان الدولاب يجب ان يدور بصورة ازلية ، او على الاقل ، الى حين ان يبلى محوره . هكذا فكر المخترع . وبهذه المناسبة ، لو صنعنا مثل هذا المحرك ، فانه لن يدور . لماذا اذن لم يتحقق حساب المخترع ؟

السبب هو ، انه بالرغم من ان الاثقال الموجودة فى الجهة اليمنى تكون دائما ابعد عن المركز من الاثقال الموجودة فى الجهة اليسرى ، لا بد من حدوث الحالة التى يكون فيها عدد الاثقال فى الجهة اليمنى اقل مما هو عليه فى الجهة اليسرى . واذا نظرنا الى الشكل ٤٤ ، لرأينا وجود ٤ اثقال فى الجهة اليمنى و ٨ اثقال فى الجهة اليسرى . ويظهر ان النظام باجمعه فى حالة توازن ، ومن الطبيعى الا يدور الدولاب ، بل سيتأرجح عدة مرات ، ثم يتوقف فى مثل هذه الوضعية * .

والآن ، لا يمكن نقض ما اثبتناه بخصوص استحالة صنع الآلة التى تتحرك ذاتيا ، حركة دائمية ، وتقوم اثناء ذلك بانجاز عمل آخر . ومن العبث تماما ان يفكر الانسان بهذه المسألة . وفى العصور الماضية ، وخاصة فى القرون الوسطى ، اتعب الناس تفكيرهم بلا جدوى ، محاولين التوصل الى حل هذه المسألة ، وصرفوا كثيرا من وقتهم وجهودهم فى سبيل اختراع « المحرك الدائم الحركة » الذى يسمى باللغة اللاتينية (perpetuum mobile).

* يتم شرح حركة مثل هذا النظام بمساعدة ما يسمى بنظرية العزم .

وقد كان الحصول على مثل هذا المحرك ، أكثر اغراء للناس ، حتى من عملية الحصول على الذهب من المعادن الرخيصة * .

وقد جاء ذكر احد هؤلاء الحالمين وهو بيرتولد فى رواية « عهود الفروسية » للشاعر الروسى العظيم الكسندر بوشكين الذى عاش فى القرن التاسع عشر .
يسأل مارتن زميله بيرتولد :

— ما هو المحرك الدائم الحركة ؟

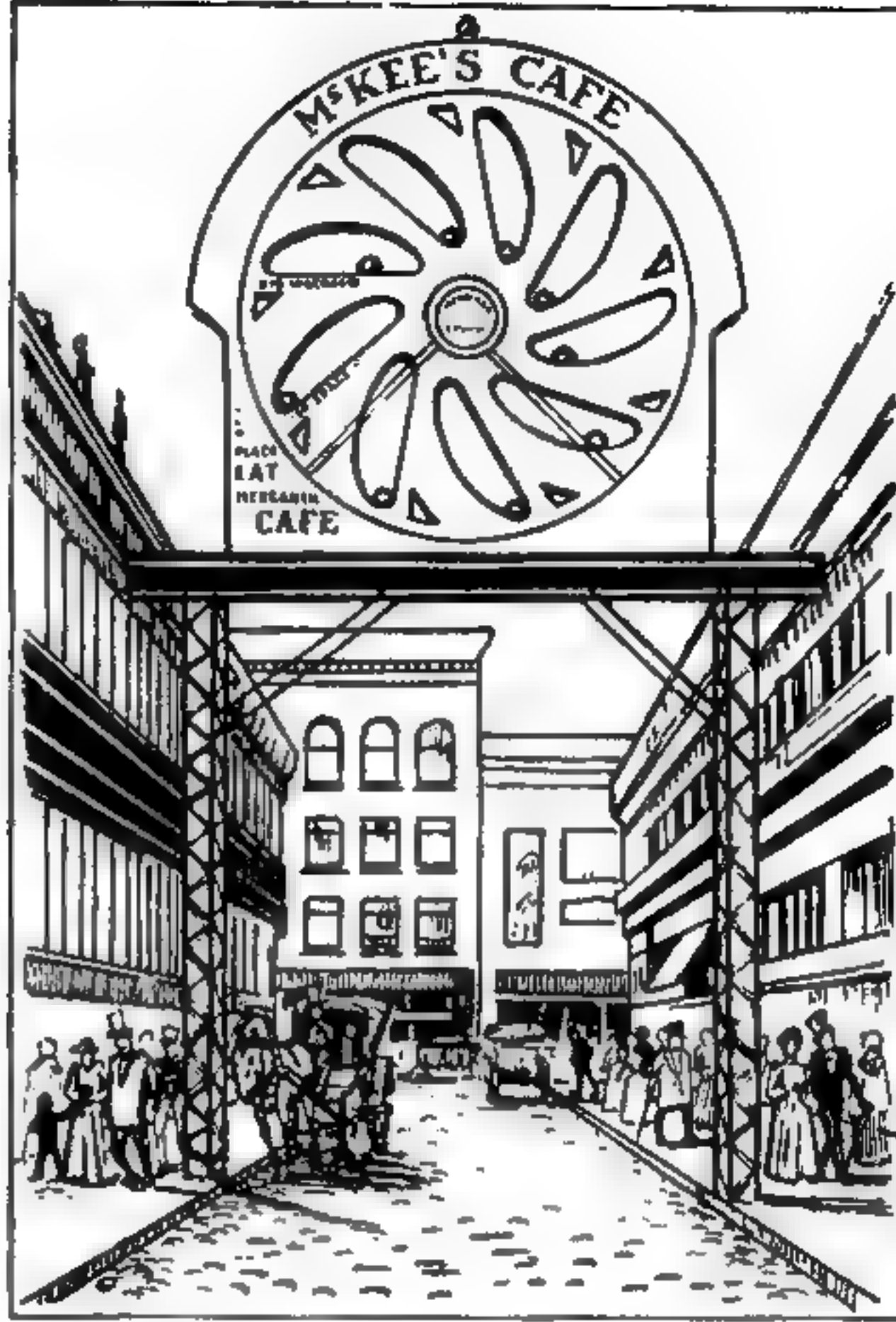
فيجيبه بيرتولد قائلا :

— انه حركة دائمة الى الابد . فاذا حصلت على المحرك الدائم الحركة ، فسوف لا ارى حدودا لابداع الانسان .. الا ترى يا صديقى العزيز مارتن ، ان صنع الذهب هو مسألة مغرية ، واكتشاف قد يكون طريقا ومربحا . اما الحصول على المحرك الدائم الحركة .. فهو امر رائع ! .

لقد صممت مئات الانواع من « المحركات الدائمة الحركة » ولكنها جميعا لم تتحرك . وفى كل حالة ، كما فى مثالنا السابق ، لم يتنبه المخترع الى عامل من العوامل ، الامر الذى أدى الى فشل جميع التصميمات .

وهذا نموذج آخر للمحرك الدائم الحركة المزعوم : دولاب يحتوى على كريات ثقيلة تتحرك فى داخله (شكل ٤٥) . لقد تصور المخترع ان الكريات الواقعة فى احدى جهتى الدولاب قريبا من المحيط ، تؤثر بثقلها على الدولاب وتجبره على الدوران . ومن البديهي ان ذلك لن يحدث ، لنفس السبب الذى ذكرناه فى حالة الدولاب المبين فى الشكل ٤٤ . غير انه تم فى احدى مدن امريكا ، اقامة دولاب ضخم جدا ، من هذا النوع بالذات (شكل ٤٦) لغرض الدعاية ولفت انظار الناس الى احدى المقاهى . وبطبيعة الحال فقد كان هذا « المحرك الدائم الحركة » يدار بواسطة آلة اخرى اخفيت عن الناس بصورة فنية ، مع ان المشاهدين كانوا يتصورون ان الكريات الثقيلة المتدحرجة

* وذلك بواسطة ما يسمى عند العرب بحجر الفلاسفة (المعرب) .



شكل ٤٦ : محرك
« دائم الحركة » نصب في مدينة
لوس أنجلوس (كاليفورنيا) ،
لفرض الدعاية .

في ثانيا الدولاب ، هي التي تحركه . وقد وجدت نماذج اخرى مزعومة للمحرك الدائم
الحركة شبيهة بما ذكر اعلاه ، وضعت في وقت ما في واجهات محلات بيع الساعات ،
لجلب انتباه الناس ، وكانت جميعها تدار بالتيار الكهربائي .
وفي احد الايام ، سبب لي احد محركات الدعاية هذه ، ازعاجا كبيرا * . لقد

* ما يتحدث المؤلف عن نفسه .

اعجب تلاميذى بهذا المحرك اعجابا كبيرا ، الى حد لم يصدقوا معه كل ما اثبتته لهم من استحالة صنع المحرك الدائم الحركة . ان منظر الكريات وهى تتدحرج فتتحرك الدولاب ، الذى يرفعها بدوره الى الاعلى ، كان اكثر اقناعا لهم من البراهين التى قدمتها ، ولم يصدقوا بان هذه الآلة الميكانيكية العجيبة تدار بالتيار الكهربائى . والامر الوحيد الذى انقذنى ، هو علمى بان التيار الكهربائى عندئذ ، كان ينقطع عن المحلات المذكورة فى ايام العطل وقد انتهزت هذه الفرصة ، ونصحت تلاميذى بزيارة واجهات تلك المحلات فى الايام المذكورة . وقد عمل التلاميذ بنصيحتى . وسألتهم بعد ذلك :

— والآن ، هل رأيتم المحرك ؟

فاجابنى التلاميذ بارتباك :

— لا لم نره ، فقد كان مغطى بجريدة ...

وهكذا ، فقد عادت الى التلاميذ ثقتهم بقانون حفظ الطاقة ، ولن يتخلوا عن هذه الثقة بعد الآن .

صعوبة غير متوقعة

لقد اجتهد كثير من المخترعين الروس المتعلمين بانفسهم ، فى حل المسألة المغرية « للمحرك الدائم الحركة » . واحد هؤلاء ، هو الفلاح السيبرى الكسندر شيجلوف ، المعروف باسم « البرجوازى الصغير بريزيتوف » فى رواية الكاتب الروسى الشهير سالتيكوف شيدرين ، المعنونة : « الحياة العصرية المسالمة » . واليك ما يقوله الكاتب عن زيارته لورشة ذلك المخترع :

« كان البرجوازى بريزيتوف فى الخامسة والثلاثين من عمره ، ضعيفا ممتنع اللون ، وله عينان واسعتان مستقرقتان فى التأمل ، وقد تدلت جدائل شعره الطويل باستقامة حول رقبته . وكان منزله الريفى واسعا الى حد كاف . الا ان نصفه تماما كان مشغولا بدولاب موازنة كبير (حذافة كبيرة) ، بحيث لم يتسع لنا المنزل الا بصعوبة . وكان الدولاب يحتوى على برامق (صنادقات) ، وله اطار واسع جدا ، مصنوع من الواح

خشبية مرصوصة مع بعضها مثل الصندوق الفارغ . وفي داخل هذا الصندوق الفارغ
حفظت الآلة ، التي كانت بمثابة سر المخترع . ولم يكن في السر تعقيد خاص ، وكل
ما في الامر ، وجود اكياس من الرمل تعمل على موازنة بعضها البعض . وقد ادخلت
عصا في احد البرامق ، لكي تجعل الدولار يقف ساكنا .
وبدأت الحديث متسائلا :

— سمعنا انكم طبقتم عمليا قانون الحركة الدائمة ، فهل هذا صحيح ؟
فاجابني مرتبكا :

— لست ادرى ماذا اقول ، يبدو اننى قد فعلت ذلك .
فاستدركته قائلا :

— هل يمكننا الاطلاع على ذلك ؟
فاجابني :

— نعم ، وساكون سعيدا لو فعلتم ذلك ...
ثم قادنا نحو الدولار وجعلنا نتجول حواليه ، فظهر ان هناك دولابا من كلتا
الجهتين الامامية والخلفية .
— هل يدور الدولار ؟

— يجب ان يدور ، ولكنه على ما يبدو متقلب الاطوار ... ويجب ان يتشاقى ؟؟
— هل يمكننا سحب العصا ؟
وهنا سحب بريزنتوف العصا .. ولكن الدولار لم يتحرك ؟
فقال ثانية :

— انه يتشاقى .. وهو بحاجة الى زخم .. ثم امسك الاطار بكلتا يديه واداره عدة
مرات الى الاعلى والاسفل ، واخيرا رجحه بقوة وتركه . فأخذ الدولار يدور . قام الدولار
بعدة دورات سريعة وسلسة . وكنا نسمع كيف كانت اكياس الرمل داخل الاطار تستقر
فوق الحواجز ثم تبتعد عنها ، وهكذا دواليك .. الى ان اصبح الدولار يبطئ في دورانه
شيئا فشيئا . ثم سمعنا اصوات قرقة وصرير .. واخيرا توقف الدولار نهائيا .

ثم قال المخترع بارتباك وهو يوضح :
— لا بد ان هناك شيئا ما ، ثم اعد تدوير الدولاب مرة ثانية .
وقد حدث في هذه المرة ايضا ، نفس الشيء الذى حدث فى المرة الاولى .
فقلت متسائلا :
— ربما لم تأخذوا الاحتكاك فى نظر الاعتبار عند التصميم ؟
فاجابنى قائلا :

— والاحتكاك ايضا أخذ بنظر الاعتبار .. مهلا .. الاحتكاك ؟ ! ليس هذا
الخلل بسبب الاحتكاك .. بل لسبب مجرد .. انه يجعلك مسرورا لوقت ما ، وبعد
ذلك يبدأ فجأة بالقرقرة والصرير — وينتهى كل شيء . تمنيت لو كان الدولاب مصنوعا
من مادة جيدة وليس من نفايات (قراضات) .
وبطبيعة الحال ، لم يكن الامر متعلقا بـ « الخلل » او بـ « المادة الجيدة » بل كان
يتعلق بعدم صحة الفكرة الاساسية لتصميم الآلة . لقد دار الدولاب قليلا ، نتيجة
« للزخم » او الدفعة ، التى تلقاها من المخترع ، وكان لا بد له من التوقف بعد ان صرفت
الطاقة التى اتته من الخارج ، فى التغلب على الاحتكاك .

القوة الرئيسية تكمن فى الكرات

ويتحدث الكاتب الروسى كارونين فى قصته المعنونة « المحرك الدائم الحركة » ،
عن مخترع روسى آخر لهذا المحرك ، وهو فلاح من مقاطعة بيرم اسمه لافرينتى جولديرىف
(متوفى عام ١٨٨٤) ، قدمه كارونين فى قصته باسم بيختين .
ان كارونين ، الذى وصف الآلة بصورة مفصلة ، كان يعرف المخترع شخصا ،
ويقول فى معرض الحديث :

« انتصبت امامنا آلة غريبة كبيرة الحجم ، تبدو لاول وهلة كآلة التى تنعل
بها الخيول ، وتراءت امامنا بعض الاعمدة والعوارض الخشبية السيئة القشط ، ومجموعة

كاملة من الحذافات والعجلات المستنة ، وكانت كلها سمجة وخشنة وقبيحة المنظر .
وهناك في الاسفل تماما ، ظهرت بعض الكرات الحديدية الملقاة على الارض ، وكان
يوجد على بعد قليل كوم كاملة من تلك الكرات .

وسأل رئيسنا المخترع :

— هل هذه هي الآلة ؟

— نعم ، هي بالذات ..

— طيب .. وهل تدور ؟

— وكيف لا .. انها تدور بالطبع ..

— وهل تملك حصانا لكي يديرها ؟

فاجاب بيختين :

— وما فائدة الحصان ؟ انها تدور بنفسها .

قال ذلك وأخذ يطلعنا على تركيب هذه الآلة العجيبة .

ان الكرات الحديدية التي كانت مكوّمة على الارض ، هي التي لعبت الدور

الرئيسي في الموضوع . ثم استطرد بيختين قائلا :

— ان القوة الاساسية تكمن في هذه الكرات .. انظروا ههنا . ان الكرة تصطدم

اول الامر بهذه المغرفة .. ومنها تنطلق مثل البرق خلال هذا المجرى . وهناك تتلقفها

هذه المغرفة فتطير كالمجنون الى ذلك الدولاب ، وتصدمه ثانية صدمة قوية بحيث تجعله

يصرخ . واثناء طيران هذه الكرة ، تكون هناك كرة اخرى في طريقها الى نفس العمل ..

حيث تطير مرة اخرى وتصطدم هنا ، ثم تنطلق خلال المجرى وتتلقفها المغرفة فتقذفها

نحو الدولاب وتصدمه ثانية .. وهلم جرا . هكذا تعمل هذه الآلة ، والآن ساجعلها تدور .

وهنا أخذ بيختين يذرع السقيفة ذهابا وايابا ليجمع الكرات المبعثرة بسرعة ؟

واخيرا ، جمعها وكومها بالقرب منه ، ثم تناول احداها بيده وقذفها بقوة في اقرب مغرفة

من الدولاب ، ثم قذف الكرة الثانية والثالثة .. وهكذا . وهنا حدثت ضوضاء لا يمكن

تصورها نتيجة لقعقة الكرات عند اصطدامها بالمغارف الحديدية ، ولصرير الدولاب

الحشبي ، بالاضافة الى زحير الاعمدة . وقد ملأ كل هذا الضجيج الجهنمي ، ارجاء ذلك المكان شبه المظلم .

وقد أكد كارونين بان آلة جولديريف تحركت . وما هذا الا سوء فهم واضح .
يحتمل ان الآلة قد دارت ، عندما هبطت الكرات المرفوعة الى الاسفل - فقد كان باستطاعتها عندئذ تحريك الدولاب ، مثل اثقال الساعة الحائطية ، وذلك على حساب الطاقة الكامنة في الكرات اثناء رفعها الى الاعلى . ان مثل هذه الحركة لن تستمر طويلا : عندما تكون كافة الكرات المرفوعة الى الاعلى سابقا ، والمصطدمة بالمغارف ، قد استقرت في الاسفل ، تتوقف الآلة عن الحركة ، اذا لم تكن قد توقفت قبل ذلك نتيجة لمقاومة كافة تلك الكرات ، التي كان على الآلة ان ترفعها .

وبعد فترة من الزمن ، خاب امل المخترع نفسه بآلته التي اخترعها ، وذلك عندما عرضها امام الجمهور في معرض اقيم في مدينة اكاتربنبرج ، وشاهد في نفس المعرض مكينات صناعية حقيقية . وعندما سئل عن « محرك الدائم الحركة » ، اجاب مكتئبا :
لتهب الى الشيطان . اذا اردتم ، فسوف احطمها واجعل منها وقودا للنار .

مركم اوفيمتسيف

لقد بين الجهاز الذي يسمى بمركم اوفيمتسيف للطاقة الميكانيكية ، انه من السهولة الوقوع في الخطأ ، اذا ما حكمنا على الحركة « الدائمة » بمنظرها الخارجي .

لقد ابتكر اوفيمتسيف ، وهو مخترع من مدينة كورسك في الاتحاد السوفيتي نوعا جديدا من محطات توليد القدرة التي تدار بطواحين الهواء ، ذات مركم بالقصور الذاتي ، رخيص الكلفة ، ومبنى على غرار العجلة الحذافة . لقد قام اوفيمتسيف عام ١٩٢٠ بصنع نموذج لذلك المركم ، على هيئة قرص يدور على محور رأسي بمحمل كريات ، وموضوع في داخل غلاف مفرغ من الهواء . وبعد ان ادير القرص بسرعة ٢٠٠٠٠ دورة / دقيقة ، استمر في الدوران لمدة ١٥ يوما . وبملاحظة محور مثل هذا القرص وهو يدور لعدة ايام بكاملها دون تزويده بطاقة من الخارج ، يعتقد الانسان البسيط (السطحي النظرة) بان امامه تصميم حقيقيا للمحرك الدائم الحركة .

«معجزة .. وليست بالمعجزة»

ان البحث اليائس عن المحرك «الدائم الحركة» ، جعل كثيرا من الناس تعساء للغاية . لقد تعرفت قبل الثورة * على عامل انفق كافة رواتبه ومدخراته النقدية ؟ على صنع نموذج للمحرك «الدائم الحركة» ، الى ان اصبح بنتيجة ذلك فى حالة من الفقر المدقع . وقد بات بذلك ضحية لافكاره التى لا يمكن تحقيقها . وكان يسير شبه عار ، وهو جائع على الدوام ، يطلب من جميع الناس ان يمنحوه شيئا من النقود لبناء «النموذج النهائى» الذى «سيتحرك حتما» لقد كان من المؤسف حقا ، الاعتراف بان هذا الشخص قاسى الحرمان لسبب واحد فقط ، هو جهله للمبادئ الاساسية للفيزياء .

والشيء الطريف هنا ، هو انه اذا كان البحث عن المحرك «الدائم الحركة» ، عقيما فى جميع الاحوال ، فانه على العكس من ذلك ، كثيرا ما أدى الادراك العميق لاستحالته ، الى اكتشافات مثمرة .

واروع مثال على ذلك ، هى تلك الطريقة التى مكنت العالم الهولندى البارز ستيفن من اكتشاف قانون توازن القوى على السطح المائل ، وقد عاش ستيفن فى الفترة الواقعة بين نهاية القرن السادس عشر وبداية القرن السابع عشر . ان هذا العالم الرياضى يستحق من الشهرة اكثر مما ناله ، لانه قام بكثير من الاكتشافات العلمية المهمة ، التى تستخدم الآن باستمرار : فقد استنبط الكسور العشرية ، وادخل مقامات الكسور فى علم الجبر ، واكتشف القانون الايلروستاتى ، الذى قام العالم باسكال بوضعه فيما بعد .

لقد اكتشف ستيفن قانون توازن القوى على السطح المائل ، دون الاعتماد على قاعدة متوازي اضلاع القوى ، بل بمساعدة الرسم المبيّن فى الشكل ٤٧ . لنضع سلسلة تتألف من ١٤ كرة صغيرة متساوية الحجم ، حول مؤشر ثلاثى . ماذا يحدث لهذه السلسلة ؟ ان القسم السفلى ، المتدلى كضفيرة زهور ، يتوازن بنفسه . ولكن هل يوازن

* ثورة اكتوبر الاشتراكية العظمى .



شكل ٤٧ : « معجزة وليست معجزة ».

القسمان الباقيان بعضهما البعض ؟ وبعبارة أخرى ، هل توازن الكرتان الواقعتان في الجهة اليمنى ، الكرات الأربع الواقعة في الجهة اليسرى ؟ حتما ، والا لتحركت السلسلة من نفسها حركة مستمرة من اليمين الى اليسار . لانه في كل مرة ، ستحل كرات جديدة محل الكرات المتزلقة ، ولن يعود التوازن مرة أخرى ابدا . ولكن ، بما اننا نعلم بان السلسلة

الموضوعة بالطريقة الميينة ، لن تتحرك من تلقاء ذاتها ابدا ، فمن الواضح ان الكرتين الاوليتين ، تتوازنان مع الكرات الأربع الموجودة في الجهة اليسرى . يبدو كأن في الامر معجزة : قوة شد الكرتين تساوى قوة شد الكرات الأربع .

ومن هذه المعجزة ، استطاع ستيفن ان يحصل على قانون مهم في علم الميكانيكا . وقد ناقش المسألة بالشكل التالى : ان لفرعى السلسلة - الطويل والقصير - وزنين مختلفين ، ويزيد وزن احدهما على وزن الثانى بعدد من المرات ، يساوى عدد مرات زيادة ضلع الموشور الطويل على ضلعه القصير . وبتتج من ذلك ، ان اى ثقلين مربوطين بحبل ، يتوازنان مع بعضهما عند وضعهما على سطحين مائلين ، اذا تناسب وزناهما مع طولى السطحين المائلين .

وفى الحالة الخاصة ، التى يكون فيها السطح القصير عموديا ، نحصل على قانون مشهور من قوانين الميكانيكا ، وهو : لكى يقف الجسم على سطح مائل ، يجب ان تؤثر فى اتجاه ذلك السطح ، قوة تقل عن وزن الجسم بعدد من المرات ، يساوى عدد مرات زيادة طول السطح على ارتفاعه .

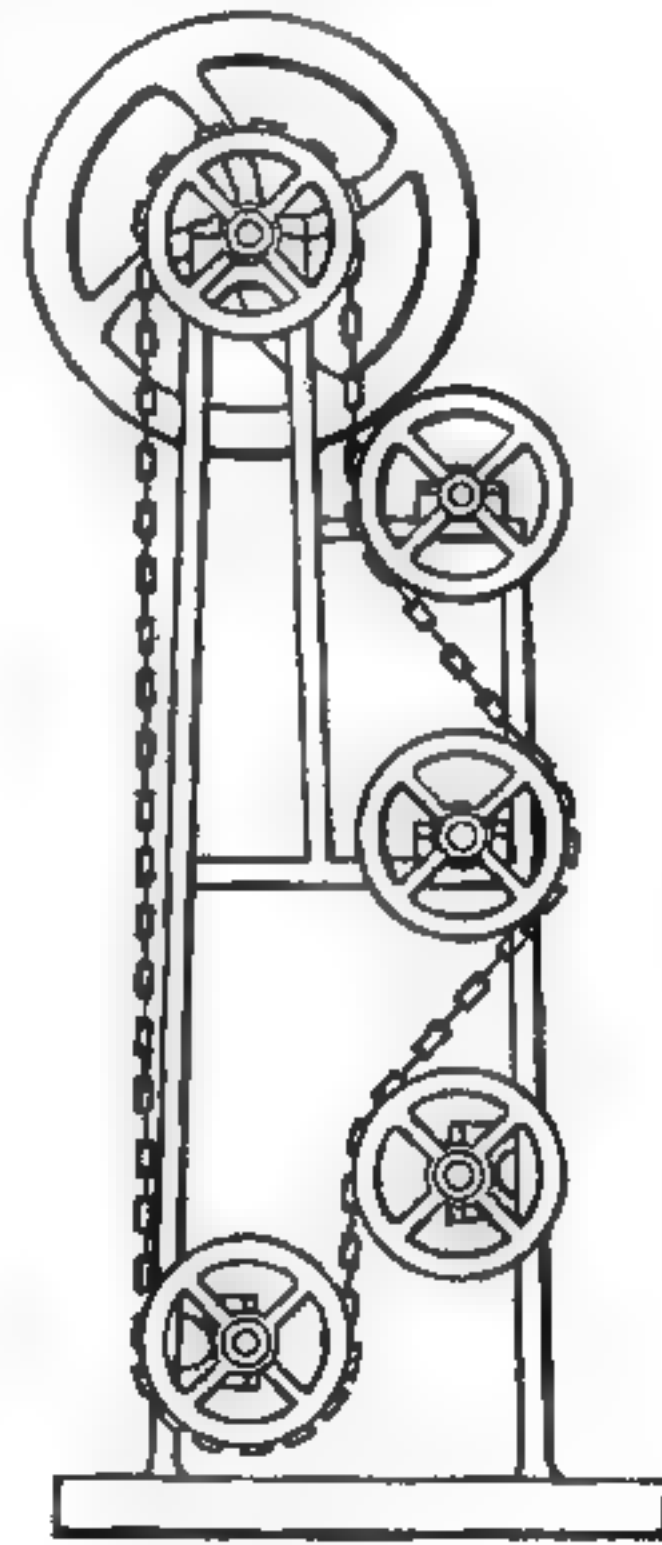
وهكذا ، أدت الفكرة القائلة باستحالة المحرك الدائم الحركة ، الى اكتشاف هام فى علم الميكانيكا .

عدد آخر من «المحركات الدائمة الحركة»

يبين الشكل ٤٨ سلسلة ثقيلة تمر خلال عجلات ، بحيث يكون نصفها الايمن اطول من النصف الايسر في جميع الاحوال . ويتج - من وجهة نظر المخترع - ان النصف الايمن للسلسلة ، يجب ان يكون في حالة توازن مع النصف الايسر ، فيهبط الى الاسفل باستمرار ، وبذلك يجعل الآلة (العجلات) تتحرك برمتها . ولكن هل يحدث ذلك بالفعل ؟

ان ذلك لا يحدث بالطبع . وقد عرفنا مما سبق ، ان السلسلة الثقيلة قد تتوازن مع السلسلة الخفيفة ، اذا كانت القوى المسلطة عليهما ، مختلفة الميل . اما في هذه الآلة ، فان السلسلة اليسرى مشدودة عموديا ، والسلسلة اليمنى مائلة . ولذلك ، فمع انها اقل ، لكنها لا تسحب السلسلة اليسرى . وهكذا لا يمكن في هذه الحالة الحصول على المحرك «الدائم الحركة» الذي توخينا .

ولعل اطرف هؤلاء المخترعين ، كان صاحب المحرك «الدائم الحركة» الذي عرض في ستينيات القرن الماضي ، في معرض باريس . كان المحرك يتألف من دولاب كبير ، يحتوى على كرات تتدحرج في داخله . وبهذه المناسبة ، فقد أكد المخترع انه لا يوجد انسان في العالم ، باستطاعته ايقاف حركة ذلك الدولاب . وقد حاول زوار المعرض واحد بعد الآخر ، ان يوقفوا الدولاب ، ولكن الدولاب كان يعاود الحركة دون ابطاء حالما ترفع عنه الايدى . ولم يخطر ببال احد ، ان الدولاب يدور بفضل محاولة



شكل ٤٨ : هل هذا محرك دائم الحركة ام لا ؟

الزوار ايقافه بالذات ، وذلك لانهم عندما يدفعونه الى الوراء ، فانهم بذلك يدورون الزنبرك الخاص بالآلة المخفية بمهارة ...

«المحرك الدائم الحركة» الذى اراد ان يقتنيه قيصر روسيا بطرس الاول

يحفظ الارشيف الآن ، تلك الرسائل الحماسية التى حررها قيصر روسيا بطرس الاول فى الفترة الواقعة بين عامى ١٧١٥ - ١٧٢٢ ، عندما اراد الحصول من المانيا على محرك دائم الحركة ، ابتكره شخص يدعى الدكتور اورفيريوس .

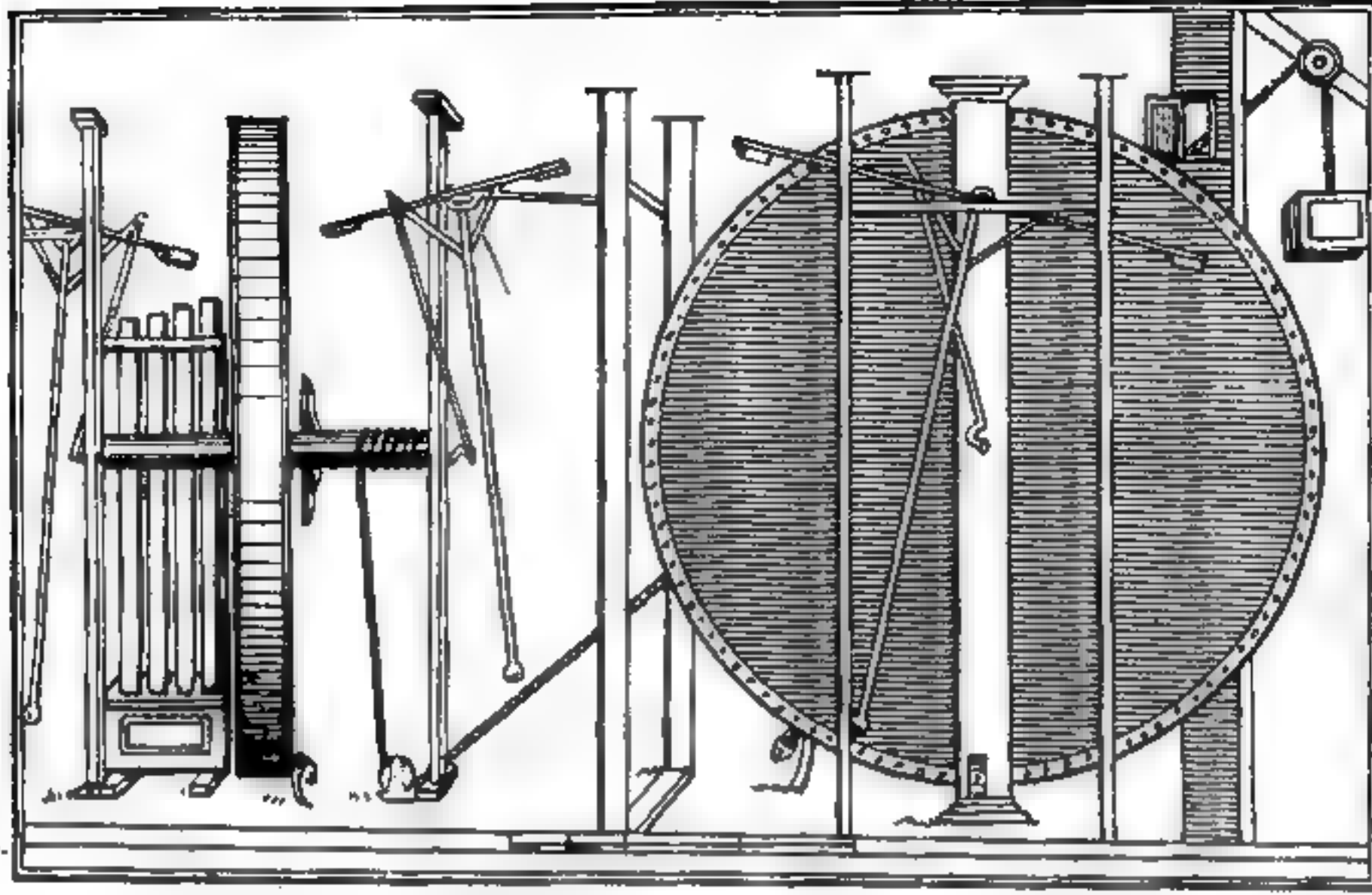
وقد وافق المخترع ، الذى اشتهر فى كافة انحاء المانيا « بدولابه الذاتى الحركة » على بيع آله للقيصر ، مقابل مبلغ طائل من المال . وكان القيصر قد ارسل الى الغرب عالما يدعى شوماخير ، لجمع الاشياء النادرة ، وطلب منه التفاوض مع الدكتور اورفيريوس حول شراء الآلة . ولما عاد الى روسيا قدم تقريرا الى القيصر ، عن نتيجة مفاوضاته مع اورفيريوس ، جاء فيه : « لقد كانت العبارة الاخيرة التى تفوه بها المخترع هى : اذا دفعتم ما يعادل ١٠٠ الف روبل ، فسوف تحصلون على الآلة » .

اما الآلة نفسها ، فقد قال عنها المخترع ، كما ذكر شوماخير : « انها مضبوطة ، وليس فى استطاعة احد ان يذمها ، الا اذا كان سبى الخلق ، والدنيا مليئة بالاشرار الذين لا يمكن تصديقهم باى حال من الاحوال » .

وقد تهباً القيصر بطرس الاول ، فى يناير (كانون الثانى) عام ١٧٢٥ ، للسفر الى المانيا ليطلع بنفسه على « المحرك الدائم الحركة » الذى كثر الحديث عنه ، ولكن موت القيصر منعه من تحقيق رغبته .

من كان ذلك الشخص الغامض ، الدكتور اورفيريوس ، وكيف كان شكل « آله المشهورة » ؟ لقد تمكنت من الحصول على معلومات عن المخترع وآله .

كان اللقب الحقيقى لاورفيريوس هو بيسلير ، وقد ولد فى المانيا عام ١٦٨٠ . وانكب على دراسة اللاهوت والطب والرسم ، واخيرا كرس جهوده لاختراع المحرك



شكل ٤٩ : دولاب اورفيربوس الذاتى الحركة ، الذى اراد القيصر الروسى بطرس الاول ان يحصل عليه (الصورة مأخوذة من رسم قديم) .

«الدائم الحركة» . وقد كان اورفيربوس أشهر مخترع من بين أولئك المخترعين ، الذين وصل عددهم الى عدة آلاف ، وربما كان أكثرهم حظا . لقد عاش حتى نهاية عمره (توفى عام ١٧٤٥) ، حياة مرفهة من الربح الذى كان يحصل عليه كلما عرض آلته على الجماهير .

ان الرسم المبين فى الشكل ٤٩ ، المأخوذ من كتاب قديم جدا ، يوضح الشكل الذى كانت عليه آلة اورفيربوس فى عام ١٧١٤ . ويظهر فى الرسم دولاب كبير ، يبدو وكأنه يقوم بالاضافة الى الدوران الذاتى ، برفع حمل ثقيل الى ارتفاع كبير . ان شهرة هذا الاختراع المدهش ، الذى عرضه الدكتور العالم بادئ الامر فى الاسواق الدورية ، انتشرت فى ألمانيا ، وسرعان ما ظهر لاورفيربوس انصار اقوياء جدا .

فقد اظهر ملك بولونيا اهتمامه به ، وكذلك فعل النيبيل الالماني هيسن - كاسيلسكى ، الذى وضع قصره تحت تصرف المخترع واخضع الآلة لمختلف التجارب .

وفى ١٢ نوفمبر (تشرين الثانى) عام ١٧١٧ ، ادير المحرك بعد ان وضع فى غرفة منعزلة ، واقلت الغرفة من الخارج وختمت ، ثم عهد بحراستها الى جنديين يقظين من الفرقة الخاصة . ومضت مدة اربعة عشر يوما ، ولم يسمح لا احد مطلقا ، بالاقتراب من الغرفة التى كان المحرك يدور فى داخلها . وفى ٢٦ نوفمبر ، نزع الختم عن الغرفة ، ودخلها النيبيل بصحبة حاشيته ، فوجدوا ان الدولاب لا يزال على دورانه « بنفس السرعة السابقة » . فاقفوا الآلة وفحصوها فحصا دقيقا ، وبعد ذلك اداروها مرة ثانية . ثم اقلت الغرفة مرة اخرى وختمت ، ووضعت تحت حراسة مشددة لمدة اربعين يوما . وعندما فتحت من جديد فى ٤ يناير (كانون الثانى) ١٧١٨ ، من قبل لجنة من الخبراء ، كان الدولاب مستمرا فى دورانه .

ولكن النيبيل مع هذا لم يكن مرتاحا لذلك ، وامر باعادة التجربة للمرة الثالثة ، وذلك بوضع المحرك فى داخل الغرفة واختباره لمدة شهرين كاملين . ومع ذلك ، فبعد مرور تلك المدة ، وجد ان المحرك لا يزال على حركته .

واستلم المخترع من النيبيل المعجب ، شهادة تثبت ان « المحرك الدائم الحركة » الذى اخترعه ، يقوم بـ ٥٠ دورة / دقيقة ، ويمكنه رفع ١٦ كجم الى ارتفاع قدره ١٥ م ، ويستطيع كذلك تشغيل منفاخ الحداد وآلة الشحذ . وقد تجول اورفيرىوس فى اوروبا ، حاملا الشهادة فى حقيبته .

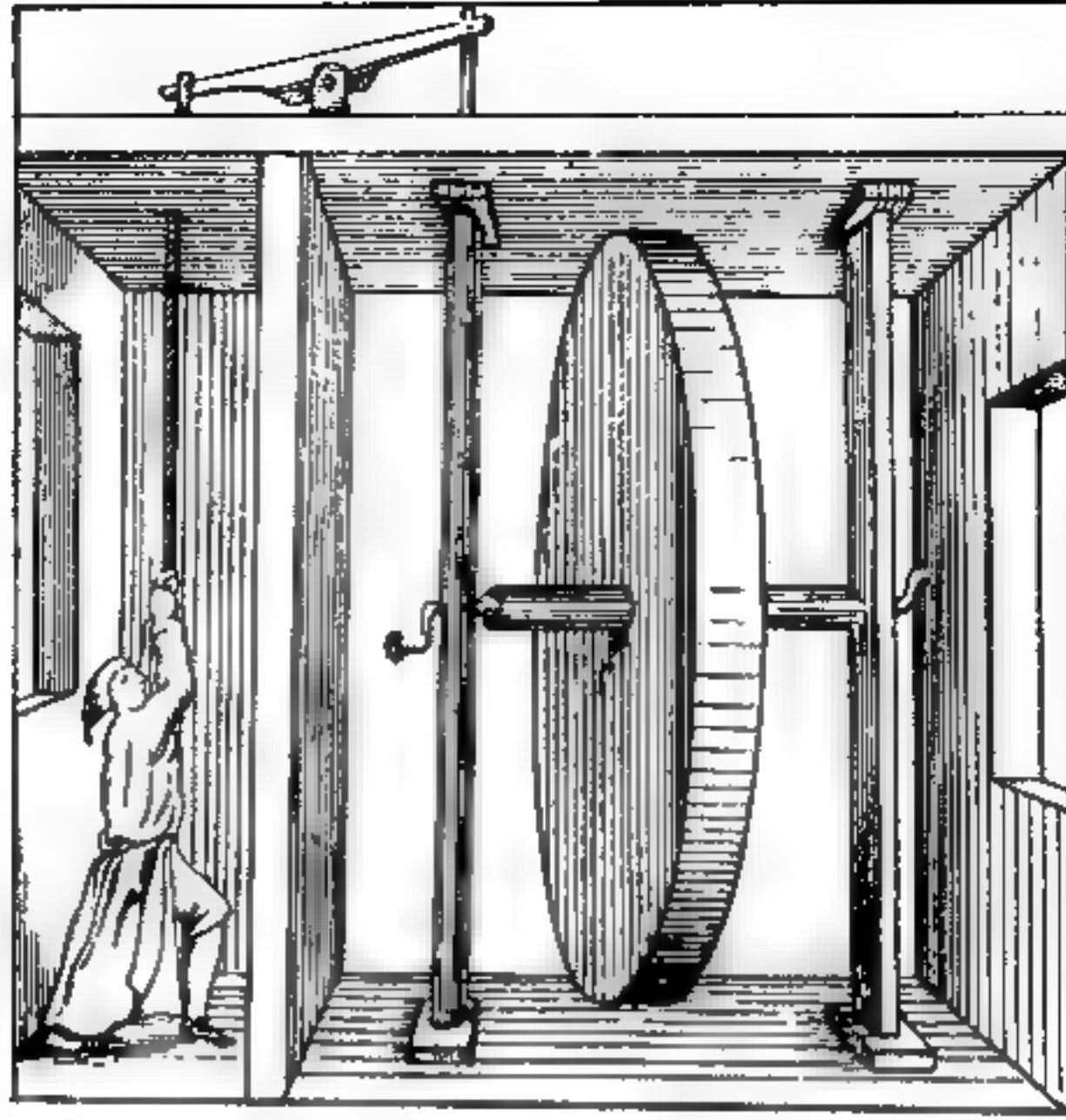
ومن المرجح انه حصل على دخل لا يستهان به ، وذلك لانه رفض ان يبيع آله الى القيصر بطرس الاول باقل من ١٠٠ الف روبل . وقد انتشر خبر هذا الاختراع المدهش للدكتور اورفيرىوس فى اوربا بسرعة ، وتوغل بعيدا خارج حدود المانيا ، حتى وصل الى بطرس الاول ، وهو الرجل الذى كان شديد الحرص على اقتناء كافة الاشياء النادرة والطريقة .

لقد اهتم بطرس الاول بدولاب اورفيريروس منذ عام ١٧١٥ ، اثناء وجوده خارج روسيا ، وقد عهد آنذاك الى الدبلوماسي الشهير اوسترمان ، بالتحري عن ذلك الاختراع تحرياً دقيقاً . وقام اوسترمان في الحال بارسال تقرير مفصل عن المحرك ، بالرغم من انه لم يتمكن من مشاهدة الآلة بالذات . حتى ان بطرس الاول اراد ان يدعو اورفيريروس للعمل في عهده ، باعتباره مخترعاً موهوباً ، وطلب من الفيلسوف المشهور في ذلك الوقت خريستيان فولف (معلم لومونوسوف) ان يبدى رأيه في اورفيريروس .

وتلقى المخترع اقتراحات مرضية من مختلف الجهات . وقد انهال عليه الملوك والامراء بالمنح والمكافآت ، والفت الشعراء قصائد وانشيد يصفون فيها آلة المخترع ويفتخرون بها . ولكن وجد بعض المعادين ، الذين اعتبروا اورفيريروس دجالاً . وقد ظهر منهم من تجرأ على اتهام اورفيريروس بالدجل والشعوذة علناً ، وعرض جائزة قدرها ١٠٠٠ مارك لمن يستطيع فضح اورفيريروس . وبيّن الشكل ٥٠ ، احد الرسوم التي نشرت للتعريض باورفيريروس وفضحه . ان سر « المحرك الدائم الحركة » كما ظن صاحب الرسم الميّن اعلاه ، يكمن ببساطة ، في وجود شخص مختلف بحداقة ، يسحب حبلاً ملفوفاً حول ذلك الجزء من محور الدولاب ، الذي اخفى في داخل الاعمدة الساندة .

وقد افتضح الدجل الحاذق صدقة ، لسبب واحد فقط ، هو ان الدكتور اورفيريروس تخاصم مع كل من زوجته وخادمته ، اللتان كانتا قد اطلعتا على سرّه . ولولا ذلك ، لكان من المحتمل ان تبقى حتى الآن في حيرة من ذلك « المحرك الدائم الحركة » الذي كثرت حوله الاقاويل .

لقد ظهر ان « المحرك الدائم الحركة » كان بالفعل بدار من قبل اناس مختلفين ، يسحبون حبلاً رفيعاً متصل بالآلة . وقد ظهر ان الذي كان يفعل ذلك ، هما اخ المخترع وخادمته . ولم يستسلم المخترع المفضوح ، ولكنه أكد بعناد حتى نهاية حياته ، ان زوجته وخادمته كانتا تحقدان عليه . ولكنه فقد ثقة الناس به . ولم يكن عبثاً قوله لشوماخير مبعوث القيصر : « ان الدنيا مليئة بالاشرار ، الذين لا يمكن تصديقهم باى حال من الاحوال » .



شكل ٥٠ : فصح سر دولاب اورفيريوس (الصورة مأخوذة عن رسم قديم)

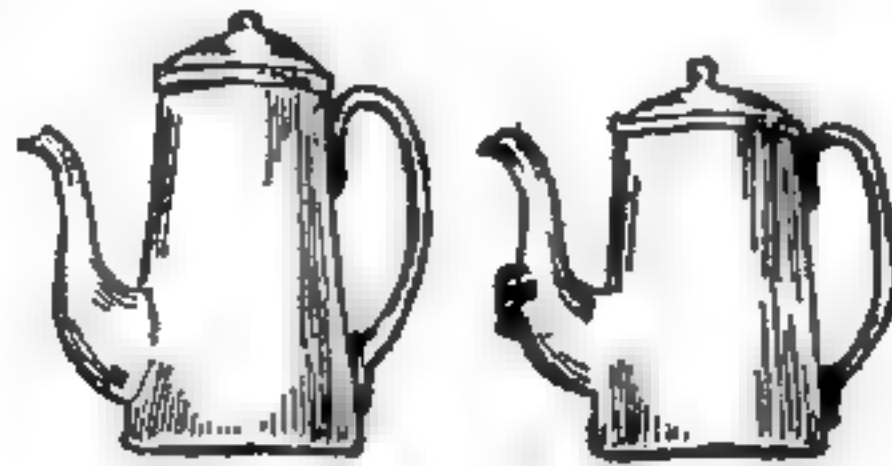
وفي عهد بطرس الاول ، اشتهر في المانيا « محرك آخر » دائم الحركة ، ابتكره شخص يدعى جبرتنير . وقد كتب شوماخير يصف تلك الآلة ، قائلا : « ان المحرك الدائم الحركة ، الذي ابتكره السيد جبرتنير ، والذي شاهدته في مدينة درسدن ، يتألف من جنفاص مملوء بالرمل ، ومن آلة تشبه الجلائخة ، تتحرك الى الورا و الى الامام حركة ذاتية ، ويقول مخترع الآلة ، انه لا يمكن جعلها اكبر من ذلك » . ولا شك في ان هذا المحرك ايضا ، لم يتوصل الى هدفه ، وكان في احسن الاحوال ، عبارة عن آلة مبتكرة ، بمحرك حتى مخفى بمهارة ، لا يمكن ان نسميه « دائم » مطلقا . وقد كان شوماخير محققا تماما ، عندما كتب الى القيصر بطرس يخبره بان العلماء الانكليز والفرنسيين يعتقدون بان فكرة « المحرك الدائم الحركة » تتعارض مع مبادئ علم الرياضيات .

مسألة حول إبريقى قهوة

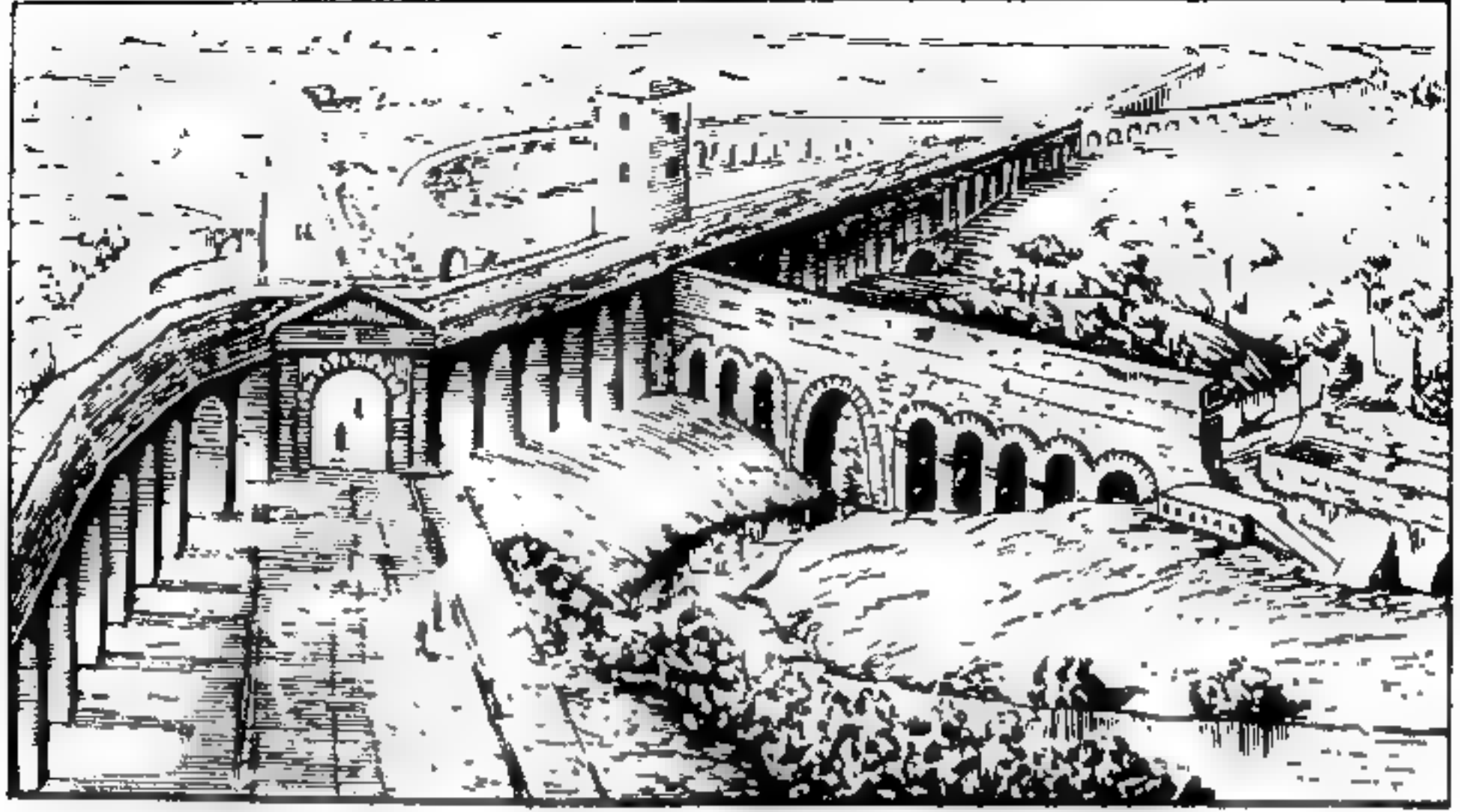
امامنا ابريقان للقهوة (شكل ٥١) متساويان فى العرض ، احدهما طويل والآخر قصير . والآن لنسأل : اى الابريقين اكثر استيعابا من الآخر ؟

من المحتمل ان يقول الكثير من الناس ، دونما تفكير ، بان الابريق الطويل هو الاكثر استيعابا . ولكنتا لو اردنا ملء الابريق الطويل بسائل ما ، فانه سيمتلئ الى مستوى فتحة بلبته . اما الباقي فسندلق من الفتحة . ولما كانت فتحتا البلبتين واقعتين على مستوى واحد فى كلا الابريقين ، فان الابريق القصير سيستوعب نفس المقدار الذى يستوعبه الابريق الطويل ، ذى البلبة القصيرة .

والامر واضح : ان السائل الموجود فى الابريق وفى البلبة ، يجب ان يستقر على مستوى واحد كما هى الحال بالنسبة لكافة الاواني المستطرقة ، على الرغم من ان السائل الموجود فى البلبة اقل وزنا بكثير من السائل الموجود فى الجزء الباقي من الابريق . اما



شكل ٥١ : اى الابريقين يتسع لكمية اكبر من السائل ؟



شكل ٥٢ : معارى المياه فى روما القديمة ، كما تبدو فى شكلها الاول .

اذا لم تكن البليلة طويلة الى حد كاف ، فلن يمثل* الابريق حتى نهايته ابدا ، لان الماء سيندلق . وتكون البليلة فى العادة ، اطول حتى من حافات الابريق العليا ، بحيث يمكن امالة الابريق قليلا ، دون ان يندلق السائل ،

ما الذى كان يجهله القدماء

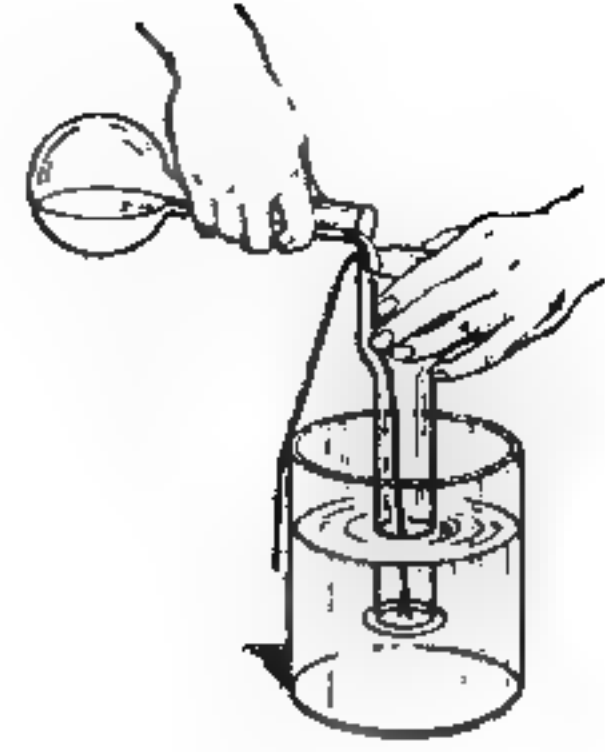
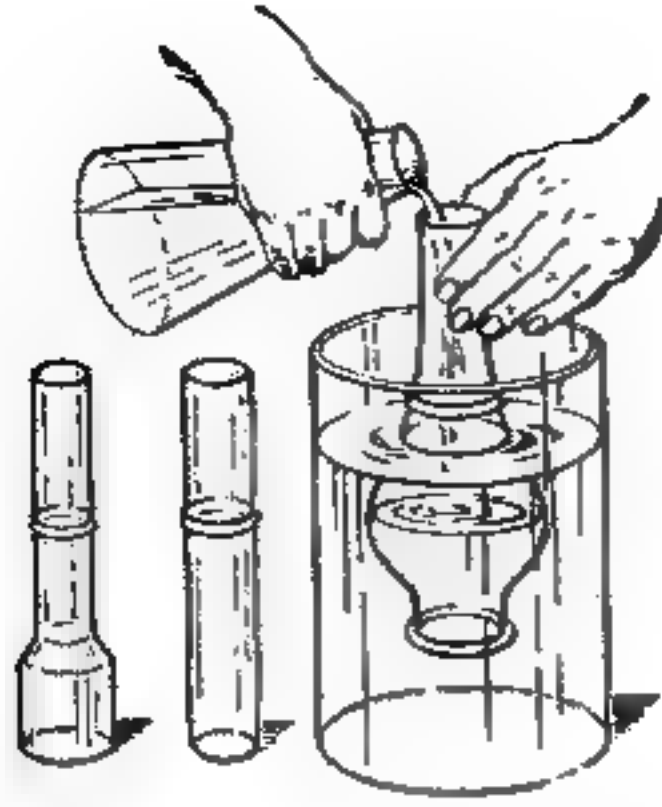
لا يزال سكان مدينة روما الحديثة ، حتى يومنا هذا ، يستخدمون بقايا معارى المياه ، التى مدّها اسلافهم فى قديم الزمان . اذ قام عبيد روما بهذا العمل على احسن ما يرام .

الا ان هذا لا يعنى ان المهندسين الرومان ، الذين اشرفوا على تلك الاعمال قاموا بتنفيذها على اسس علمية ، فمن الواضح انهم لم يكونوا على معرفة تامة بمبادئ الفيزياء .

لننظر الى الرسم المبيّن فى الشكل ٥٢ ، المأخوذ عن لوحة محفوظة فى « المتحف الالمانى » بمدينة ميونيخ . ويتضح من الرسم ، ان مجارى المياه فى روما ، لم تمتد تحت الارض بل فوقها ، على اعمدة حجرية . فماذا كان الغرض من ذلك ؟ لم يكن من الاسهل مد المواسير تحت الارض ، كما يحدث الآن ؟ بالطبع اسهل ، ولكن لم تكن للمهندسين الرومان فى ذلك الوقت . فكرة واضحة عن قوانين الاوانى المستطرفة . وقد خافوا الا يرتفع الماء فى الخزائين الموصولين بماسورة طويلة جدا ، الى نفس المستوى . فاذا مدت المواسير تحت الارض ، بميلانات تطابق ميلانات التربة ، فلا بد للماء فى بعض تلك الاقسام ، من ان يجرى الى فوق — وهنا خاف الرومان الا يجرى الماء الى فوق . ولهذا السبب . فقد اعتادوا على مد مواسير المياه ، بميلان منتظم الى الاسفل على امتداد طريقها كله (ولهذا الغرض ، كثيرا ما اضطروا اما الى تسير الماء على طريق غير مباشر ، او الى اقامة دعائم مقنطرة) . ويبلغ طول احدى المواسير الرومانية ، التى تسمى : « اكفا مارسيا » ، حوالى ١٠٠ كم ، بينما تبلغ المسافة المستقيمة بين طرفى الماسورة . حوالى ٥٠ كم فقط . وهكذا ، فقد اضطر الرومان الى مد طريق مبنى بالحجر طوله ٥٠ كم ، وذلك بسبب جهلهم لقانون فيزيائى بسيط .

السوائل تضغط الى الاعلى

حتى اولئك الذين لم يدرسوا علم الفيزياء ، يعرفون ان السوائل تضغط الى الاسفل على قعر الاناء ، وتضغط جانبيا على جدرانها . اما انها تضغط الى الاعلى ، فهو امر لا يشك فيه كثير من الناس . ويمكن التأكد من ذلك باستخدام زجاجة مصباح عادية او انبوبة عريضة . لنحضّر قرصا من الورق المقوى السميك ، بحيث يكفى لتغطية فتحة زجاجة المصباح . نضع القرص على حافات الزجاج ، ثم نغمر الانبوبة فى اناء فيه ماء ، بالطريقة المبينة فى الشكل ٥٣ . ولكي لا يسقط القرص عند غمره فى الماء ، يمكن تشييته بخيط مشدود يمر بمركزه ، او اسناده بالاصبع فقط . وعند تغطيس



شكل ٥٤ : ان ضغط السائل على قعر الاناء ، يعتمد على مساحة القاعدة وعلى ارتفاع السائل فقط . ويبين الشكل طريقة اثبات هذا القانون .

شكل ٥٣ : تجربة بسيطة تثبت لنا بأن السائل يضغط من الاسفل الى الاعلى .

الزجاجة الى عمق معين ، نرى ان القرص قد اصبح بالذات جيد الالتصاق بالزجاجة ، دون ان نشده من الخيط او نسنده بالاصبع ، وذلك لانه اصبح مسندا بضغط الماء المؤثر عليه من الاسفل الى الاعلى .

ومن الممكن قياس مقدار هذا الضغط نحو الاعلى : نصب الماء في الزجاجة بحذر ، وحالما يصل ارتفاع هذا الماء ، الى مستوى الماء الموجود في الاناء ، نرى ان القرص ينفصل عن الزجاجة . وهذا يعنى ان ضغط الماء على القرص من الاسفل الى الاعلى ، قد تعادل مع ضغط عمود الماء الموجود فوق القرص ، الذى يكون ارتفاعه مساويا للعمق الذى يوجد عليه القرص تحت سطح الماء . وهذا هو قانون ضغط السائل على كل جسم مغمور فيه . وبالمناسبة ، يحصل هنا « فقدان » الوزن داخل السوائل ، وهو الفقدان الذى نص عليه قانون ارخميدس المشهور .

ويمكننا بواسطة عدد من زجاجات المصباح ، المختلفة الشكل والمتساوية الفتحات ، ان نخبر قانونا آخر ، يتعلق بالسوائل وهو : ان ضغط السائل على قعر

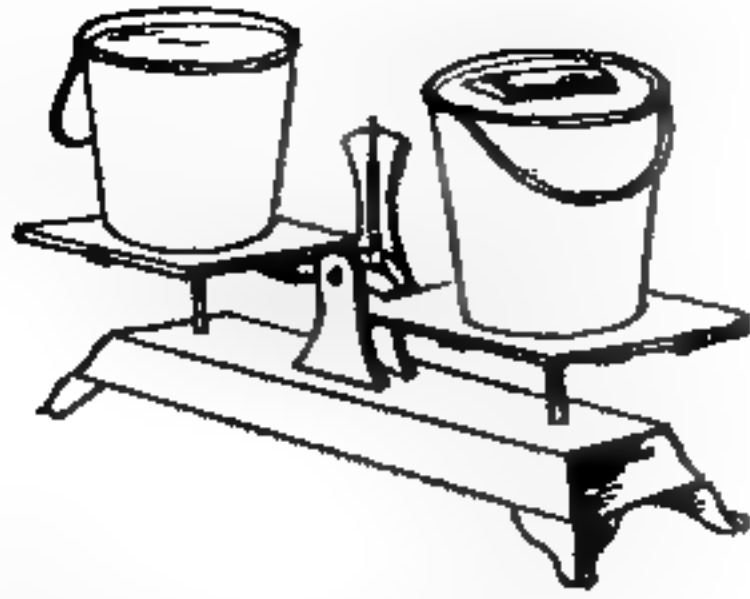
الاناء الموجود فيه ، يعتمد فقط على كل من مساحة قاعدة الاناء وارتفاع مستوى السائل الذى فيه . وسوف يتلخص الاختبار فيما يلى : نأخذ عدة زجاجات مختلفة ، ونغطسها فى الماء الى عمق متساو (ولاجل ذلك يجب القيام سلفا بلصق شرائط ورقية على الزجاجات ، بحيث تكون متساوية الارتفاع) . سنلاحظ عندئذ ، ان القرص سينفصل فى كل مرة يصل فيها الماء الذى فى داخل الزجاجات ، الى نفس الارتفاع الواحد (شكل ٥٤) . وهذا يعنى ان ضغط اعمدة الماء المختلفة الاشكال ، يتساوى ، اذا تساوت مساحات قواعدهما وتساوت ارتفاعاتها . ويجب الانتباه الى ان المهم هنا ، هو الارتفاع وليس الطول ، لان العمود الطويل المائل ، يضغط على القاعدة ، تماما مثلما يضغط عليها العمود الرأسى القصير ، الذى يساويه فى الارتفاع (عند تساوى مساحتي قاعدتيهما) .

ايهما الاثقل

لنضع دلوًا مملوءًا الى حافته بالماء ، على احدى كفتى ميزان ، وعلى الكفة الثانية ، دلوًا مماثلاً ، مملوءًا بالماء الى حافته ايضا ، وفيه قطعة من الخشب طافية (شكل ٥٥) . ايهما اثقل من الآخر يا ترى ؟

لقد حاولت طرح هذا السؤال على مختلف الناس ، وقد كانت اجاباتهم متنوعة . اجاب بعضهم ، بأن الدلو الذى تطفو فيه قطعة الخشب هو الاثقل ، لان وزن قطعة الخشب يضاف الى وزن الماء الموجود فى الدلو . واجاب الآخرون على النقيض ، واكدوا ان الدلو الاول هو الاثقل ، لان الماء الثقل من الخشب .

ولكن كلتا الاجابتين غير صحيحتين لان الدلوين متساويان فى الوزن . وفى الحقيقة ، فان الماء فى الدلو الثانى ، اقل مما فى الدلو الاول . ذلك لان قطعة الخشب الطافية ، تزيح قليلا منه . ولكن ، حسب قانون الاجسام الطافية ، عندما يطفو جسم فى سائل ، يكون وزن الجسم الطافى مساويا لوزن السائل الذى ازاحه القسم المغمور من الجسم . ولهذا السبب بالذات ، يجب ان تتوازن كفتا الميزان .



شكل ه ه : ان الدولين هت
مليشان بالماء حتى نهايتيهما، وتطفو على
سطح الماء فى الدلو الاول قطعة من
الخشب . لى الدولين انقل من الآخر ؟

والآن ، لنحل مسألة اخرى : اذا وضعنا
قدحا من الماء على احدى كفتى ميزان ووضعنا
الى جانبه سنجة ، ثم وازنّا الميزان ، واسقطنا
السنجة الموضوعة الى جانب القدر ، فى داخله ،
فماذا يحدث للميزان ؟

تبعاً لقانون ارخميدس ، تصبح السنجة فى
داخل الماء ، اقل وزناً مما كانت عليه خارجه .
ربما بدا لنا ، انه من الممكن ان ترتفع الكفة
التي وضع عليها القدر . غير ان الواقع يبين ان
الميزان يحافظ على توازنه . فما هو تفسير ذلك ؟

ان السنجة التي فى القدر ، ازاحت قسماً من الماء ، وبذلك ارتفع الماء الى مستوى
اعلى من مستواه الابتدائي ، ونتيجة لذلك يزداد الضغط على قعر القدر ، وذلك لان
القعر يتعرض لقوة اضافية ، مساوية لما فقدته السنجة من وزنها .

الشكل الحقيقى للسائل

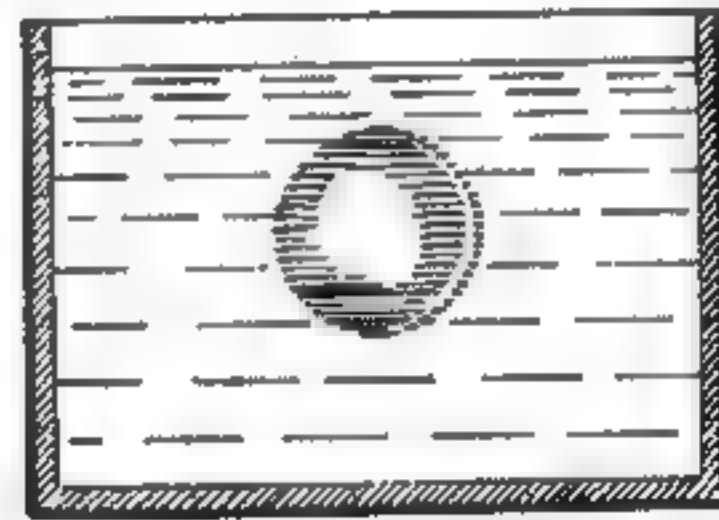
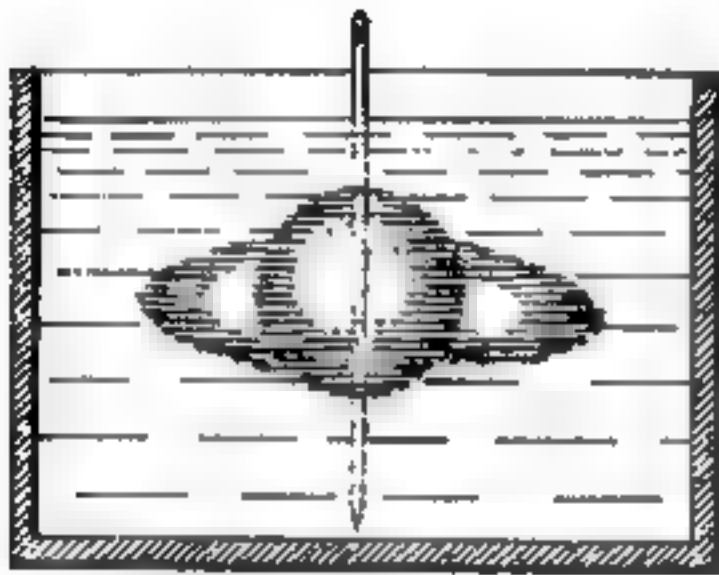
. لقد اعتدنا على التفكير بانه ليس للسائل شكلاً خاصاً ، وهذا غير صحيح . ان
الشكل الحقيقى لكافة السوائل — هو الشكل الكروى . وعادة ، فان قوة الجاذبية تحول
دون اتخاذ السائل ذلك الشكل . لذا ، فان السائل اما ان يجرى على هيئة طبقة رقيقة
اذا سكبه من الاناء ، او ان يأخذ شكل الاناء الذى يصب فيه . وعندما يمزج السائل
مع سائل آخر له نفس الوزن النوعى ، فانه طبقاً لقانون ارخميدس « يفقد » وزنه ،
ويصبح عديم الوزن تماماً ، ولا تؤثر عليه قوة الجاذبية . عندئذ يأخذ السائل شكله
الكروى الطبيعى .

ان زيت الزيتون يطفو على سطح الماء ، ولكنه يرسب فى الكحول . ولذلك يمكن
اعداد مزيج من الماء والكحول ، بحيث لا يمكن لزيت الزيتون ان يطفو او يرسب فى

هذا المزيج . وعندما نلقى في هذا المزيج قليلا من الزيت بواسطة محقنة (قطارة) ، نلاحظ ظاهرة غريبة : يتجمع الزيت في قطرة دائرية كبيرة ، لا تطفو ولا ترسب ، بل تبقى معلقة بلا حراك * (شكل ٥٦) .

ويجب اجراء التجربة بأناة وحذر ، والا فلن تتكون لدينا قطرة كبيرة واحدة . بل عدة قطرات كروية صغيرة . ولكن حتى في مثل هذه الحالة . فان التجربة تكون ممنوعة ايضا .

ولكن هذا ليس كل شيء بعد . لناخذ عصا طويلة او سلكا حديديا . ونجعله يخترق قطرة الزيت السائل من مركزها ، ثم نبدأ بتدويره ، فنرى ان قطرة الزيت تشترك



شكل ٥٧ : اذا دورنا قطرة الدهن الموحدة في الكحول المخفف تدويرا سريعا بواسطة سلك مفروز فيها ، فسوف تتكون حلقة منفصلة عن تلك القطرة .

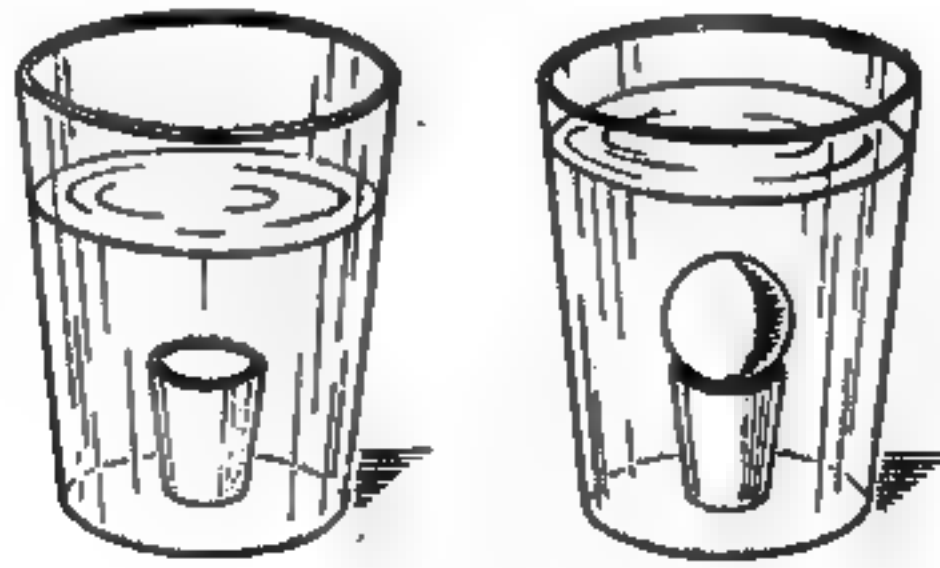
شكل ٥٦ : ان الزيت الموجود في داخل اناء فيه كحول مخفف ، يتجمع على هيئة قطرة كبيرة ، لا تطفو في الكحول ولا تطفو على سطحه (تجربة بلا تور) .

في الدوران . ويمكن الحصول على نتيجة افضل ، اذا ادخلنا في السلك قرصا صغيرا من الورق المقوى بعد تبليله بالزيت ، وحشرناه برمته في القطرة . في بداية الامر تتفطخ القطرة تحت تأثير الدوران ، وبعد عدة ثوان تكون حلقة منفصلة عنها (شكل ٥٧) .

* لكي نحصل على شكل كروي صحيح ، يجب اجراء التجربة في اناء مسطح الجدران (او في اناء كروي ، على ان يوضع داخل اناء مسطح الجدران ومملوء بالماء) .

وعندما تنقطع الحلقة الى عدة اقسام ، يكون كل منها قطرة جديدة ، وتستمر كافة القطرات بالدوران حول القطرة المركزية .

ان اول من أجرى هذه التجربة التعليمية ، هو الفيزيائي البلجيكي بلاتو . وقد قلّمنا وصفا لتجربة بلاتو بشكلها التقليدي . ويمكن اجراء هذه التجربة بطريقة اسهل بكثير ، مع الحفاظ على هدفها التعليمي . لنأخذ قدحا صغيرا ونغسله بالماء ثم نملأه بزيت الزيتون ، ونضعه في قعر قدح كبير ، ونصب في القدح الكبير كمية من الكحول بحذر ، بحيث ينغمر القدح الصغير تماما . ثم نضيف الى القدح الكبير تدريجيا وبحذر ، قليلا من الماء بواسطة ملعقة صغيرة عن طريق جداره . نلاحظ ان سطح الزيت الموجود في القدح الصغير ، قد اصبح محدبا ، ويزداد التحدب تدريجيا : وعندما تصل كمية الماء المضاف الى حد كاف ، يتحول السطح المحدب الى قطرة كروية كبيرة ، تبقى معلقة داخل المزيج المكون من الكحول والماء (شكل ٥٨) . ولصعوبة الحصول على الكحول ، يمكن الاستعاضة عنه في هذه التجربة بالانيلين - وهو سائل يكون في درجات الحرارة العادية اثقل من الماء ، اما اذا وصلت درجة الحرارة الى حد يتراوح بين ٧٥ - ٨٥° مئوية ، فيصبح اخف من الماء . وبتسخين الماء ،



شكل ٥٨ : تجربة بلاتو بصورة مبسطة .

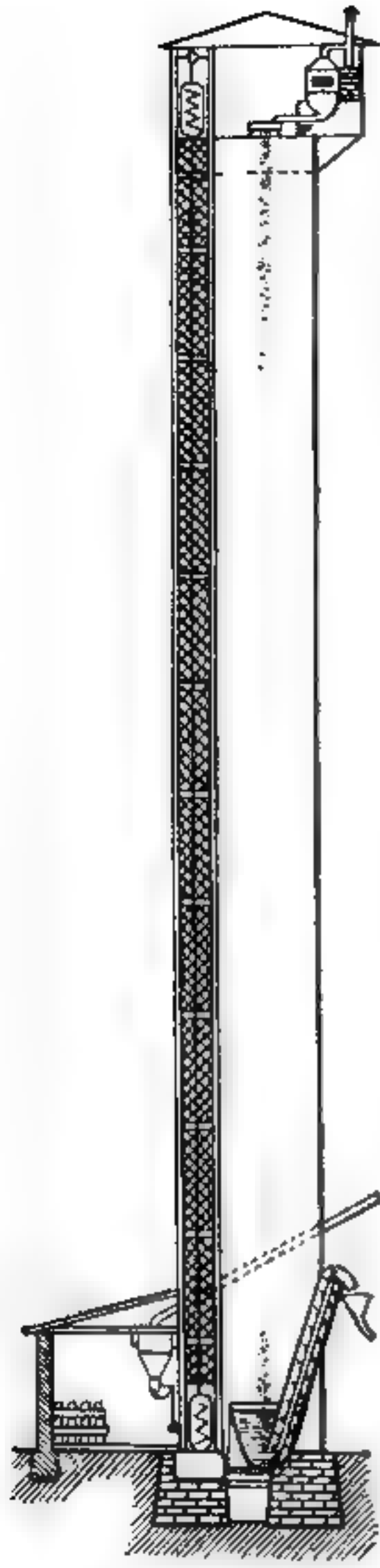
نستطيع ان نجعل الانيلين يسبح في داخل الماء ، ويكون على هيئة قطرة كروية كبيرة . وعند درجة حرارة الغرفة ، يتعاق الانيلين في محلول ملح الطعام * .
وفي عام ١٩٦٣ اثناء التحليق المشترك لسفيتى الفضاء السوفييتيتين « فوستوك - ٣ » و« فرستوك - ٤ » قام رجلا الفضاء نيكولايف وبوبوفيتش بسلسلة من التجارب لاختبار سلوك السوائل في ظروف انعدام الوزن . وقد كانت بعض النتائج غير متوقعة .
مثلا ، ان السائل الموجود في الدورق الزجاجي المدور ، لم يتجمع في المركز على هيئة كرة ، كما كان من المتوقع ، بل حجب جدران الدورق ، تاركا فقاعة هوائية في المركز بالذات . واذا أخذنا في الاعتبار ، ان مساحة سطح القسم الخاص بالماء والهواء ، تكون عندئذ اقل ما يمكن . ، يصبح تفسير سلوك السائل سهلا .

لماذا تكون الخردقة كروية

لقد ذكرنا الآن ، ان كل سائل غير معرض لقوة الجاذبية الارضية ، يأخذ شكله الحقيقي ، وهو الشكل الكروي . فاذا تذكرنا ما قيل سابقا عن انعدام وزن الجسم الساقط ، وأخذنا في الاعتبار انه في لحظة ابتداء السقوط ، يمكننا اهمال مقاومة الهواء الضئيلة * ، فيجب ان تأخذ الاجزاء الساقطة من السائل ، شكلا كرويا ايضا . وفي الواقع ، فان قطرات المطر الساقطة ، شكلا كرويا . وما الخردق . سوى قطرات متجمدة من الرصاص المصهور ، يتساقط عند انتاجه في المصنع . من ارتفاع كبير على هيئة قطرات ، في ماء بارد ، حيث تتجمد تلك القطرات على هيئة كريات منتظمة تماما . وتسمى مثل هذه الخردقة ، بخردقة « البرج » ، لانها تنتج باسقاطها من قمة

* ويعتبر الاورثوتولويدين من السوائل الملائمة لهذا الغرض ، وهو سائل غامق الحمرة ، تكون كثافته عند درجة ٢٤° ، مساوية لكثافة الماء المالح ، الذي يضاف اليه الاورثوتولويدين .

** ان قطرات المطر تسقط بتسارع في لحظة ابتداء السقوط فقط . اما في النصف الثاني من الثانية الاولى ، مثلا ، فيتحول السقوط الى حركة منتظمة : يتعادل وزن القطرة مع مقاومة الهواء ، التي تزداد بزيادة سرعة القطرة .



ابرج صب « مرتفع (شكل ٥٩) . وتكون ابراج الصب هذه ، عبارة عن منشآت معدنية يصل ارتفاعها الى ٤٥ م : توضع في اعلى قسم منها غرفة للصب . تحتوى على مراجل للصهر ، ويوجد عند قاعدة كل برج صهريج للماء . وبعد ذلك تتم عمليات تصنيف وتشذيب الخردق . ان قطرة الرصاص المصهور . تتجمد اثناء سقوطها متحولة الى خردقة وهي في الهواء . اما صهريج الماء فيلزم فقط ، لتخفيف صدمة الخردقة عند وصولها الى الارض ، وللحيلولة دون تشوه شكلها الكروي (ان الخردقة التي يزيد قطرها على ٦ مم . والمسماة بـ « الحققة » . تصنع بطريقة مختلفة . وذلك من قطع سلكية صغيرة . تدفن فيما بعد الى كريات) .

كأس بلا قعر

نخذ كأسا واملأها بالماء حتى حافتها ، وضع بقربها بعض الدبابيس ، ثم تناوؤ دبوسين وحاول ان تجد لهما متسعا في داخل الكأس . هل تعتقد ان بإمكانك ان تفعل ذلك ؟

ابدأ بالقاء الدبابيس في الكأس واحفظ عددها في نفس الوقت ، على ان يتم ذلك بعناية تامة كما يلي : اغمر رأس الدبوس في الماء بحذر . ثم اترك الدبوس من يدك بكل هدوء ، وبلا دفع او ضغط ، لتلا يؤدي الاهتزاز الى انسياب الماء . وبعد القاء عدد من الدبابيس واستقرارها في قعر الكأس ، ستري ان مستوى الماء لم يتغير .

شكل ٥٩ . برج
مصنع الخردق (قطع
الرصاص) .

داوم على القاء الدبابيس الى ان يصل العدد الى اكثر من مائة ... وسترى مع ذلك ، ان الماء لم يبدأ بعد بالانسياب من الكأس (شكل ٦٠) .



شكل
التجربة الشهيرة الالفاء
الدبابيس من كأس
الماء

ولم يكتف الماء بعدم الانسياب فحسب ، بل انه لم يرتفع عن مستواه باى قدر ملحوظ . استمر فى القاء عدد آخر من الدبابيس ، حتى يصل العدد الى اربعمائة ... وسترى رغم ذلك عدم انسياب اية قطرة من الماء عبر حافة الكأس ، بل سترى الآن بوضوح ، ان سطح الماء قد انتفخ (تحدب) وارتفع قليلا عن حافات الكأس . وفى هذا الانتفاخ (التحدب) يكمن سر هذه الظاهرة المبهمة . ان الماء يبلل الزجاج قليلا ، طالما كان الزجاج مدهونا بعض الشيء ، وحافة الكأس - ومثلها مثل كافة الاواني

الزجاجية التى نستخدمها - لا بد وان تلوث بآثار دهنية ، ناتجة عن ملامسة الاصابع لها . ولما كان الماء لا يبلل الحافة ، فان الدبابيس تزيحه من الكأس ، فيشكل سطحها محدبا . ويكون التحدب غير واضح للعين ، ولكن اذا حسبنا حجم الدبوس الواحد ، وقارناه بحجم التحدب الذى ظهر فوق حافة الكأس ، لاقتنعا بان الحجم الاول اقل من الحجم الثانى بمئات المرات . وهذا هو السبب الذى يجعل الكأس المملوءة ، تتسع لعدة مئات اخرى من الدبابيس . وكلما كانت فوهة الكأس اوسع ، كلما اتسعت لعدد اكبر من الدبابيس ، وذلك لان التحدب سيكون اكبر . ولايضاح المسألة ، نقوم بحساب تقريبي . يبلغ طول الدبوس حوالى ٢٥ مم ، وسمكه نصف ملليمتر . ويمكن ايجاد حجم مثل هذه الاسطوانة ، بسهولة ، وذلك بموجب الصيغة الهندسية المعروفة $(\frac{\pi r^2}{4})$ ، ويساوى ٥ مم^٣ .

حيث :

ع -- طول الدبوس ؛

ق -- قطر الدبوس ؛

ط -- النسبة الثابتة (٣١٤ر)

ولا يزيد حجم الدبوس مع الرأس ، على ٥ر ٥ مم^٢ .

والآن نحسب حجم الطبقة المائية ، المرتفعة فوق حافة الكأس . قطر الكأس يساوي ٩ سم = ٩٠ مم . ومساحة مثل هذه الدائرة ، تساوي حوالى ٦٤٠٠ مم^٢ . وإذا اعتبرنا ان سمك الطبقة المرتفعة ، يساوي ١ مم فقط ، يكون حجمها مساويا للمقدار ٦٤٠٠ مم^٣ ، وهذا اكبر من حجم الدبوس بمقدار ١٢٠٠ مرة . وبعبارة اخرى ، فان الكأس « المملوءة » تتسع لاكثر من الف دبوس اضافى ! وفى الحقيقة ، اذا التزمنا الحذر ، يمكن ان نلقى فى الكأس باكثر من الف دبوس ، بحيث تبدو للعين ، وكأنها تشغل الكأس بمرمتها ، بل وترتفع فوق حافتها ، فى الوقت الذى لا يبدو فيه ان الماء فى طريقه الى الانسياب .

الخاصية الطريفة للكبروسين

ان كل من استخدم مصباح الكاز ، يعلم على الارجح ، بالمفاجآت المزعجة ، المتعلقة باحدى خواص الكبروسين . فاذا ملأنا الخزان بالكبروسين ، وجففناه من الخارج تجفيفا جيدا ، نرى انه بعد مضى ساعة من الوقت ، يصبح مبللا مرة ثانية . والسبب فى ذلك ، هو اننا لم نحكم سد ترمسة المصباح . وعند محاولة الكبروسين الانتشار على سطح الزجاجاة ، تسرب الى السطح الخارجى للخزان . فاذا اردنا تجنب مثل هذه المفاجآت ، يجب علينا ان نحكم سد ترمسة المصباح على قدر المستطاع . ولكن عند القيام بذلك ، يجب الا يكون الخزان ممتلئا حتى النهاية . اذ ان الكبروسين يتمدد بالتسخين تمدا كبيرا (يزداد حجمه بمقدار ١ر٠ عند ارتفاع درجة الحرارة الى ١٠٠° مئوية) . وكىلا ينفجر الخزان ، يجب ترك حيز فيه للتمدد .

ان خاصية الزحف (التسرب) هذه ، تسبب شعورا بعدم الارتياح ، على ظهر تلك السفن التى تشغل ماكيناتها بالكيروسين (او النفط) . واذا لم تتخذ الاجراءات اللازمة ، يصبح نقل كافة انواع البضائع على ظهر تلك السفن متعبدا ، ما عدا الكيروسين بالذات . ذلك لان هذه السوائل عندما تزحف (تتسرب) من الخزانات عن طريق ثقب خفية ، فانها لا تنتشر على السطح المعدنى للخزانات فحسب . بل وتتوغل فى كل مكان ، حتى فى ملابس الركاب . وتجعل رائحة الكيروسين التى لا يمكن التخلص منها . تفوح من كافة المواد والبضائع . وقد ذهبت كافة محاولات القضاء على هذا الشر ، ادراج الرياح . ولم يكن الكاتب الانكليزى الساخر جيرم ، مبالغا فى قوله ، عندما تحدث عن الكيروسين فى روايته المعنونة « ثلاثة فى قارب » ، اذ قال :

« لم ار ابدا اية مادة لها تلك القابلية للتسرب كالتى للكيروسين . فقد وضعناه فى مقدمة القارب ، فاذا به يتسرب منها الى المؤخرة ، بعد ان اشبع برائحته الخاصة ، كل الاشياء التى مر بها فى طريقه . فعندما تسرب خلال الواح التغطية الخشبية ، ووصل الى الماء ، افسد الهواء والجو ، ونغص الحياة . فقد كانت رياح الكيروسين تهب احيانا من الغرب ، وحيانا من الشرق ، وكانت تأتى احيانا اخرى من الشمال ، او ربما أتت من الجنوب . ولكن ، بغض النظر عما اذا كان مصدره هو القطب الجليدى او الصحراء الرملية ، فقد كان يصلنا دائما ، مشبعا برائحة الكيروسين . وقد افسدت علينا هذه الرائحة روعة الغروب . اما اشعة القمر ، فقد كانت تفوح برائحة الكيروسين تماما . وبعد ان ربطنا القارب الى جانب الجسر ، ذهبنا للترهة فى المدينة ، ولكن الرائحة الكريهة كانت تطاردنا ، وبدى لنا ان المدينة كلها قد تشبعت بهذه الرائحة » . ومن الطبيعى ، ان ملابس الرّحالة فقط . هى التى كانت فى الواقع مشبعة بتلك الرائحة .

ان قابلية الكيروسين لتبيل السطح الخارجى للخزانات ، جعلت الناس تفكر خطأ ، بان الكيروسين يمكن ان ينفذ الى خلال المعادن والزجاج .



شكل ٦١ : الابرّة الطافية على
سطح الماء . الصورة اليمنى - للمقطع
العرضى للابرّة (سمك ٢ مم) والشكل
اليسرى - للاثر الذي تخلفه على سطح الماء ،
الصورة اليسرى - طريقة لجعل الابرّة
تطفو على سطح الماء باستخدام قطعة من
ورق السكاير .

قطعة نقود لا تغوص في الماء

ان قطعة النقود التي لا تغوص في الماء ، هي حقيقة واقعة وليست خرافة . ويمكن
التأكد من ذلك بإجراء بعض التجارب البسيطة . نبدأ بالأجسام الصغيرة ، ولتكن الابرّة
مثلا . يبدو انه لا يمكن جعل الابرّة الفولاذية تطفو على صفحة الماء ، بينما يمكن
بسهولة القيام بذلك . نضع على صفحة الماء قصاصة من ورق السجاير ، ونضع فوقها
ابرّة جافة تماما . وما علينا الآن الا ان نسحب القصاصة من تحت الابرّة ، وذلك بالشكل
التالى : نأخذ ابرّة ثانية او دبوسا ، ونضغط بهما على حافات القصاصة لنجعلها تغوص
في الماء ، ثم ننقل الضغط تدريجيا الى الوسط حتى تغوص القصاصة بمرمتها في الماء .
اما الابرّة ، فستبقى طافية على صفحة الماء (شكل ٦١) . ويمكننا التحكم في اتجاه
الابرّة الطافية ، وذلك اذا قربنا من جدران قديم الماء ، قطعة مغناطيس وحركناها بمستوى
صفحة الماء .

ونستطيع بشيء من الحداقة ، الاستغناء هنا عن قصاصة ورق السجاير ، وذلك
اذا تناولنا الابرّة بين اصابعنا ، واسقطناها على صفحة الماء بصورة افقية ومن ارتفاع
قليل جدا .

ويمكن ان نجعل الدبوس يطفو على صفحة الماء ، بدل الابرّة (على الا يزيد سمك كل منهما على ٢ مم) ، وكذلك الزر الخفيف والقطع المعدنية الصغيرة المسطحة . وبعد التمرّن على ذلك ، نحاول ان نجعل قطعة البقود تطفو على صفحة الماء .

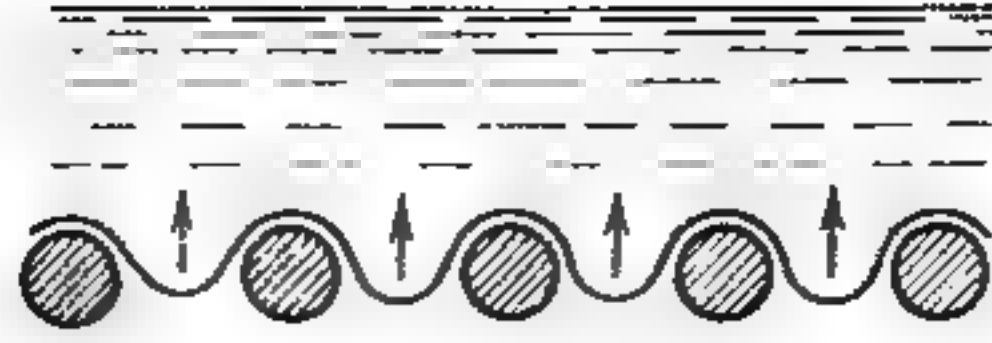
ان سبب طفو هذه القطع المعدنية الصغيرة ، هو ان الماء لا يبلل المعدن جيّداً ، وذلك لانه اصبح مغطى بطبقة دهنية رقيقة جداً ، نتيجة لتداوله في ايدينا . ولهذا يتكون حول الابرّة الطافية على صفحة الماء تجويف ظاهر للعين . وعندما نحاول الطبقة السطحية الرقيقة للماء ، ان تستوى ، تقوم بضغط الابرّة الى الاعلى ، وبذلك تعمل على اسنادها . كما تسند الابرّة ايضا ، قوة دفع السائل من الاسفل ، وهي حسب قانون الاجسام الطافية ، تساوى وزن السائل الذى تزيحه الابرّة . واسهل طريقة لتحقيق طفو الابرّة ، هو تزييتها بالزيت . ويمكن وضع مثل هذه الابرّة على صفحة الماء مباشرة دون ان تغوص .

نقل الماء فى الغريبال

يتضح انه يمكن بالفعل نقل الماء فى الغريبال ، ولا تنحصر هذه العملية فى القصص الخيالية فقط .

ومعرفة علم الفيزياء ، تساعدنا على القيام بمثل هذا العمل ، الذى يبدو فى الظاهر مستحيلا . ولاجاء ذلك ، نأخذ غريبالا سلكيا يقطر قطره ١٥ سم ، بحيث لا تكون ثقوبه رفيعة جدا (حوالى ١ مم) ، ونغطس شبكته فى البارافين المسال (المائع) . ثم نرفع الشبكة من داخل البارافين ، فنرى انها مغطاة بطبقة رقيقة من البارافين ، لا تكاد ترى بالعين الا بصعوبة .

ان الغريبال لم يتغير - فهو يحتوى على فتحات يمكن للدبوس ان يمر خلالها بسهولة - ولكن نستطيع الآن نقل الماء فى الغريبال ، بالمعنى الحرفى لهذه العبارة . ويمكن ان يحتوى هذا الغريبال ، على كمية كبيرة نسبيا من الماء ، دون ان يسيل من خلال الثقوب ، ويجب عند ذلك صب الماء فى الغريبال بحذر تام ، مع المحافظة على عدم رج الشبكة .



شكل ٦٢ : لما لا ينسكب الماء من الغربال المدهون بالبارافين ؟

والآن ، لماذا لا يسيل الماء ؟ لان البارافين الذى لا يتبلل بالماء ، يكون فى ثقب الغربال ، طبقات رقيقة جدا ، محدبة الى الاسفل ، تعمل على حبس الماء (شكل ٦٢) .

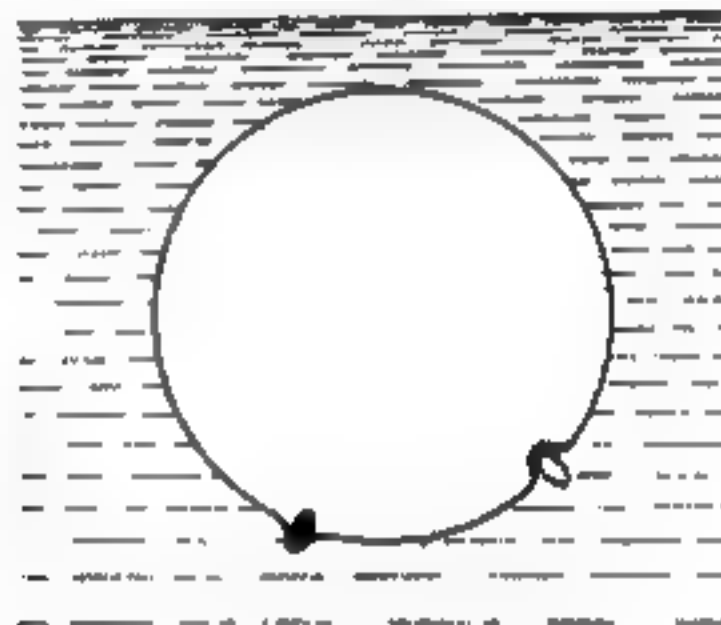
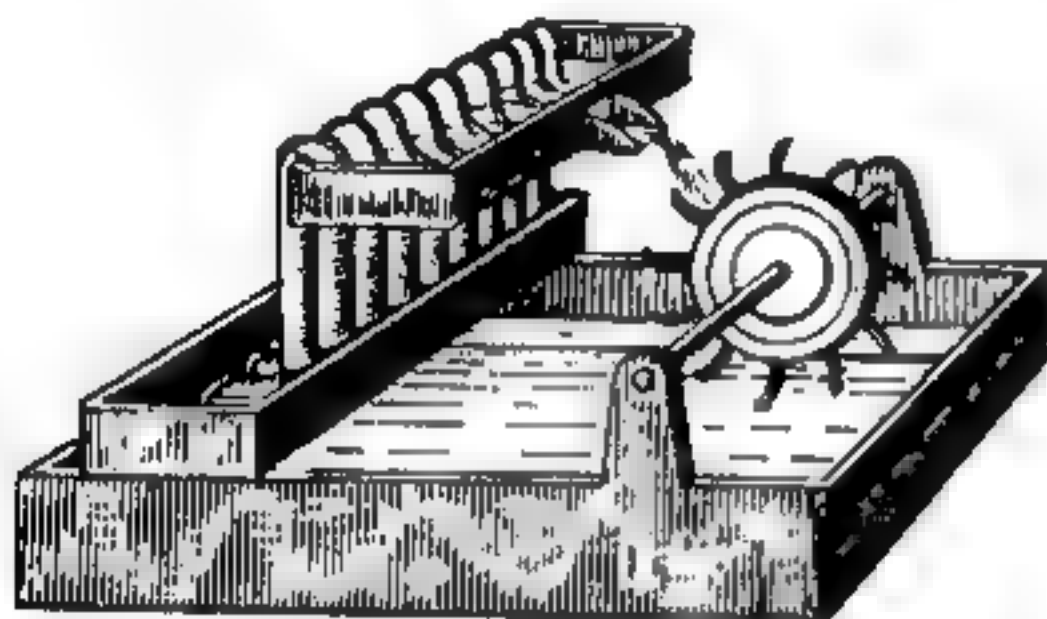
ويمكن جعل مثل هذا الغربال البارافيني يطفو على سطح الماء اى يمكن استخدام الغربال فى العوم على صفحة الماء ، بالاضافة الى استخدامه فى نقل الماء . وتوضح هذه التجربة غير المألوفة ، عددا من الظواهر العادية ، التى اعتدنا عليها جدا ، بحيث لم نفكر فى سبب حدوثها . ان طلى البراميل والقوارب بالقار ، وتزييت السدادات والجلب بالشحم ، والطفى بالاصباغ الزيتية ، وبصورة عامة ، عندما نغطى كافة الاشياء والحاجيات التى لا نريد ان ينفذ اليها الماء ، بطبقة من المواد الدهنية ، وكذلك عند معالجة (طلى او تشريب) الاقمشة بالمطاط – كل ذلك ، لا يخرج عن كونه عملية اعداد غربال ، شبيه بالذى تحدثنا عنه الآن . ان حقيقة الامر واحدة فى كلتا الحالتين ، ولكنها فى حالة الغربال ، تبدو بصورة غير مألوفة .

الرغوة فى خدمة التكنيك

ان تجربة تعويم الابرّة الفولاذية وقطعة النقود النحاسية على صفحة الماء ، تشبه احدى الظواهر التى تستخدم فى صناعة التعدين ، لغرض « تركيز » الخامات ، اى لزيادة كمية المعدن الاساسى الثمين فيها .

وهناك عدة طرق تكنولوجية لتركيز الخامات . اما الطريقة التي نقصدها في حديثنا ، والتي تسمى بطريقة « التعويم » ، فهي احسن الطرق ، حيث انها تستخدم بنجاح حتى في الحالات التي تكون فيها الطرق الاخرى عديمة النفع .

وتتلخص طريقة التعويم هذه فيما يلي : يوضع الخام المسحوق سحقاً ناعماً ، في حوض فيه ماء ومواد دهنية ، تقوم بتغليف دقائق المعدن الاساسى بطبقات رقيقة لا تبلل بالماء . ويخلط المزيج بشدة مع الهواء المضغوط ، فيتكون بذلك عدد كبير من الفقائيع الصغيرة - رغوة . وعند ذلك ، فان دقائق المعدن الاساسى المكسوة بطبقة دهنية رقيقة ، تتعلق بقشرة الفقاعة الهوائية عند ملامستها لها ، فترفعها الاخيرة الى الاعلى ،



شكل ٦٤ : محرك « دائم الحركة » لا يمكن تحقيق

عمله

شكل ٦٣ : كيفية حدوث

التعويم

كما يرفع المنطاد الجندول في الجو (شكل ٦٣) . اما دقائق الشوائب المعدنية ، غير المكسوة بطبقة دهنية ، فلا تتعلق بقشرة الفقاعة ، بل تبقى في داخل السائل . ويجب ان نلاحظ ، ان حجم الفقاعة الهوائية للرغوة ، اكبر كثيراً من حجم الدقيقة المعدنية ، ويمكنها ان تطفو بسهولة ، حاملة معها تلك الدقيقة الصلبة من المعدن . وبالنسبة ، تصبح كافة دقائق المعدن الاساسى ، موجودة في الرغوة التي تغطي السائل . ثم تزال الرغوة عن سطح السائل ، وتجرى عليها عدة معالجات اخرى - للحصول على ما يسمى

« بالخام المركز » ، الذى يحتوى على كمية من المعدن الاساسى ، تزيد عشر مرات ، عما يحويه الخام الاول .

ويجرى التعويم بطريقة فنية متقنة جدا ، بحيث يمكن بالاختيار الملائم للسوائل الكاشفة (المزيج) ، فصل اى معدن اساسى عن الشوائب المعدنية ، فى اى مركب كان .

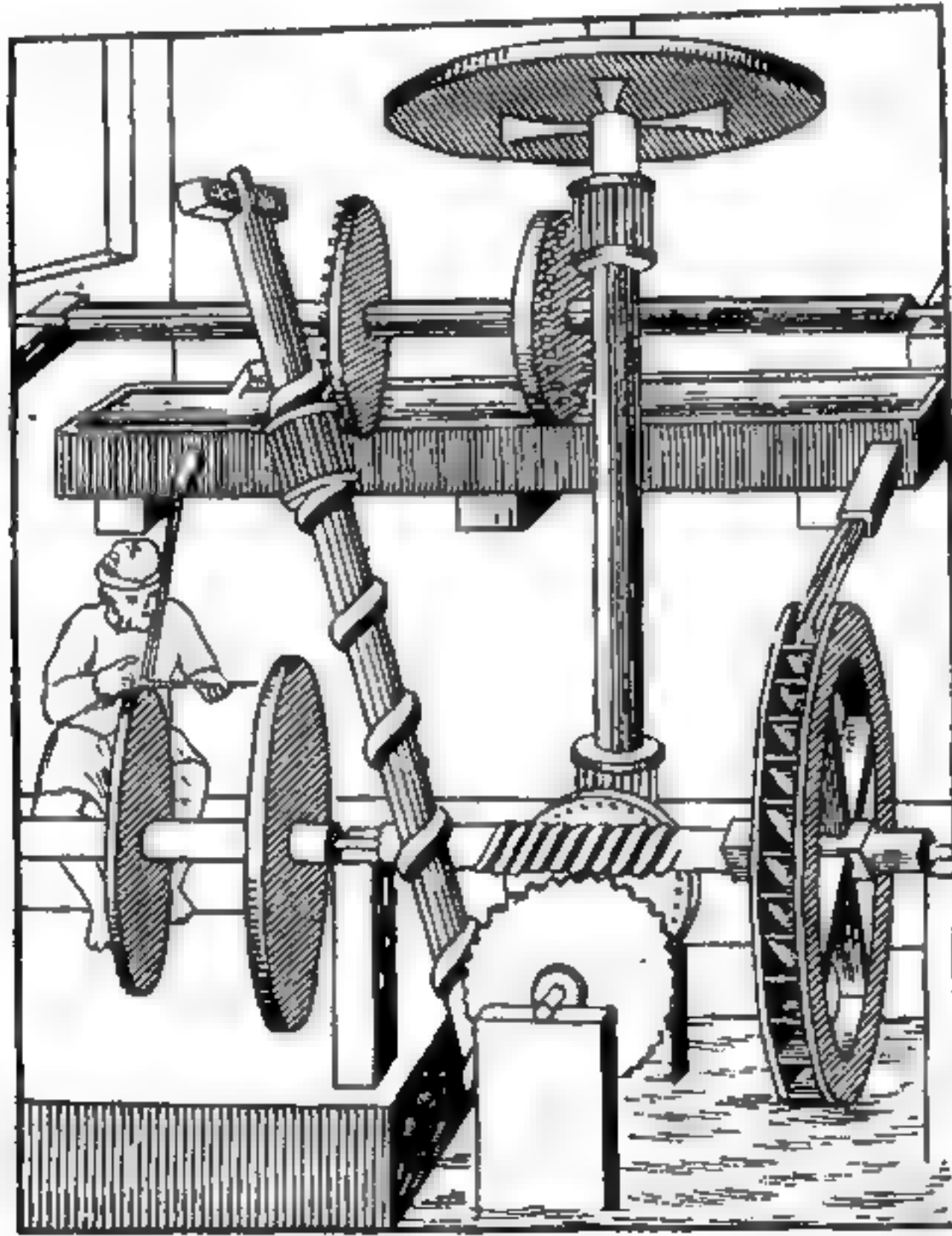
ولم يتم اكتشاف طريقة التعويم ، بناء على احدى النظريات ، بل تم ذلك بالمراقبة الدقيقة لاحدى الحقائق التى وقعت صدفة . ففى نهاية القرن الماضى ، عندما كانت المعلمة الامريكية كارى ايفيرسون تغسل اكياسا ملوثة بالدهن ، بعد استعمالها لحفظ مادة بيريت النحاس ، لاحظت ان دقائق بيريت النحاس تطفو مع رغوة الصابون . وكانت تلك الملاحظة بداية الطريق نحو تطور طريقة التعويم .

المحرك «الدائم الحركة» المزعوم

نجد فى الكتب احيانا وصفا للجهاز المبين فى الشكل ٦٤ ، على اعتبار انه نموذج حقيقى للمحرك «الدائم الحركة» . ويتألف هذا الجهاز من اناء صلب فيه زيت (او ماء) ، يمتص الى الاعلى بواسطة فتائل ، فينتقل اولا الى اناء اعلى من الاول . ومنه ينتقل بواسطة فتائل اخرى الى اناء اعلى ، ويحتوى الاناء العلوى على مجرى لسيلان الزيت الذى يسقط على جواريف (ريش توجيه) الدولاب ، فيجعله يدور . ان الزيت الذى يجرى الى الاسفل ، يرتفع ثانية الى الاناء العلوى بواسطة الفتائل . وهكذا ، فان تيار الزيت المتدفق عبر المجرى نحو الدولاب ، لا ينقطع ابدا ، ويجب ان يتحرك الدولاب بصورة دائمية .

واذا كلفنا المؤلفين الذين وصفوا هذا الجهاز بمهمة صنعه ، لتأكدوا ، لا من عدم دوران الدولاب فحسب ، بل ومن عدم وصول اية قطرة من السائل الى الاناء العلوى ! ويمكن تصور ذلك ، دون القيام بصنع ذلك الجهاز . حقا ، لماذا يعتقد المخترع بان الزيت يجب ان يسيل الى الاسفل من الجزء العلوى المنحنى للفتيل ؟ ان التجاذب

الشعري تغلب على الجاذبية الارضية ، ودرفع السائل الى الاعلى خلال الفتيل . وهذا التجاذب الشعري بالذات ، هو الذي يحافظ على بقاء السائل في مسام الفتيل المبلل ، ويمنعه من التسرب الى الخارج . فاذا فرضنا ان السائل يمكن ان يصل الى الاناء العلوي لتلك الدوامة المزعومة ، وذلك بتأثير قوة التجاذب الشعري ، فيجب الاعتراف فيما بعد ، بان تلك الفتائل التي يفترض ان توصل السائل الى الاناء العلوي ، سوف تقوم بالذات ، باعادته ثانية الى الاناء السفلي .



شكل ٦٥ : تصميم قديم لمحرك «دائم الحركة» ، يعمل بواسطة تيار الماء ، ويستخدم لتدوير حبر التجليخ .

وبذكرنا هذا المحرك الدائم الحركة المزعوم ، بماكنة اخرى تعمل بالماء ، ذات « حركة دائمة » اخترعت فى عام ١٥٧٥ من قبل الميكانيكى الايطالى سترادو الكبير . وهذه الماكنة المسلية مبينة فى الشكل ٦٥ . عند دوران اللولب (الشادوف الارخميدى) يرتفع الماء الى الخزان العلوى ، ومنه يتدفق خلال المجرى على هيئة تيار مائى يسقط على ريش توجيه الدولاب الذى يقوم بعملء الخزان (فى الاسفل الى اليمين) . ويقوم دولاب الماء بتشغيل آلية التجليخ ، ويدير فى نفس الوقت بمساعدة عدد من العجلات المسننة ، اللولب الذى يرفع الماء الى الخزان العلوى . وهكذا ، فان اللولب يدير الدولاب ، والدولاب يدير اللولب ! اذا كان فى الامكان صنع مثل هذه الآليات ، لكان من الاسهل القيام بذلك كما يلى : نلف حبلا حول بكارة (مجموعة من البكرات) ، ونربط فى طرفى الحبل ثقليين متساويين ، فاذا ما نزل احد الثقليين الى الاسفل ، فانه سيرفع بذلك الثقل الثانى ، وعند نزول الثقل الثانى من ذلك الارتفاع ، سيرفع الثقل الاول . فهل تختلف هذه الآلة بشئ عن « المحرك الدائم الحركة » ؟

فقاقيع الصابون

هل قمت يوما ما بنفخ فقاقيع الصابون ؟ ليس ذلك بالامر السهل كما يبدو . وكان يبدو لى ان ذلك لا يحتاج الى اية مهارة ، حتى اقتنعت بان القيام بنفخ فقاقيع كبيرة وجميلة المنظر ، هو فن خاص يحتاج الى تمرين . ولكن هل هناك فائدة من القيام بعمل تافه ، مثل نفخ فقاقيع الصابون ؟

لقد كوّن الناس فكرة غير حسنة عن هذه الفقاقيع . وعلى الاقل ، فنحن لا نعبّر عن رضانا عندما نتذكرها فى احاديثنا . ولكن الفيزيائيين ينظرون اليها نظرة مختلفة تماما . فقد كتب العالم الانكليزى العظيم كيلفن يقول : « انفخ فقاعة صابون وراقبها . اذ يمكنك ان تدرسها طوال حياتك ، وتستقى منها على الدوام دروسا فى الفيزياء » . وفى الحقيقة ، فان الوان قوس قزح السحرية ، التى تظهر على الاغشية الرقيقة

لفقايع الصابون ، تساعد علماء الفيزياء على قياس طول الموجات الضوئية . اما بحث شد (توتر) هذه الاغشية الرقيقة ، فيساعد على دراسة قوانين تبادل الفعل بين الدقائق (الجسيمات) - وهي قوى التماسك ، التي لو لا وجودها ، لما وجد في هذا العالم اى شيء ، ما خلا دقائق الغبار .

ان التجارب القليلة الموضحة ادناه ، لا تتطوى على شيء من الاهمية فى اغراضها . ان ذلك مجرد لهو ممنوع ، يجعلنا نتعرف على فن نفخ فقايع الصابون . وقد قدم العالم الانكليزى جارلس بوير فى كتابه المعنون « فقايع الصابون » ، وصفا مفصلا لعدد كبير من التجارب المختلفة ، المتعلقة بفقايع الصابون . فاذا كنت من المهتمين بمثل تلك التجارب ، فعليك الرجوع الى ذلك الكتاب الرائع ، الذى نقتبس منه فيما يلى ايسر التجارب فقط .

ويمكن اجراء هذه التجارب باستخدام صابون الغسيل العادى * ، وننصح الراغبين فى ذلك ، باستخدام صابون زيت الزيتون النقى او زيت الاوز النقى ، الذى يعتبر اكثر ملائمة للحصول على فقايع صابون كبيرة وجميلة . نذيب قطعة من هذا الصابون بعناية ، فى ماء بارد نظيف ، الى ان يصبح الماء مشبعاً برغوة الصابون الكثيفة . ومن الافضل استخدام ماء المطر النقى او ماء الثلج وعند عدم توفر ذلك ، نستخدم الماء المغلى بعد تبريده ، ولكي تبقى الفقايع مدة طويلة من الزمن ، ينصح العالم بلاتو باضافة الجليسرين الى الرغوة بنسبة حجمية قدرها ١ : ٣ . نزيل الرغوة والفقايع الصغيرة عن سطح السائل الرغوى ، بواسطة ملعقة ، ثم نغط فى الرغوة انبوبة رفيعة من الفخار ، بعد ان ندهن طرفها بالصابون ، من الداخل والخارج . ويمكن الحصول على نتائج حسنة باستخدام انايب من القش طولها ١٠ سم ، ونهاياتها مشطورة على هيئة صليب .

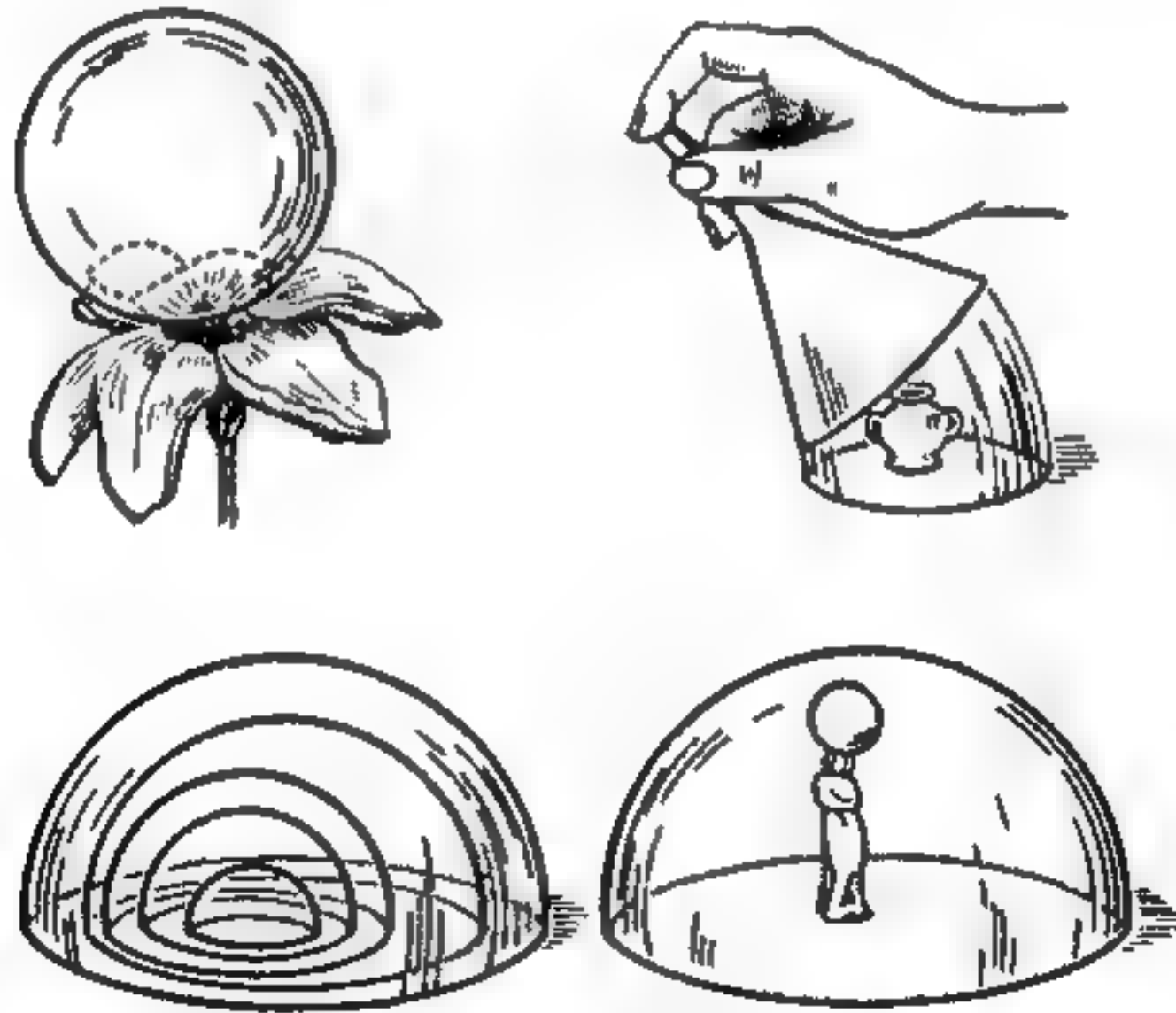
وتنفخ الفقاعة كما يلى : نغط طرف الانبوبة فى الرغوة ، بحيث تكون الانبوبة فى وضع عمودى ، لكي يتكون على طرفها غشاء من السائل ، ثم ننفخ فيها بهدوء .

* ان الصابون المعطر يكون اقل نفعا فى هذه الحالة .

ولما كانت الفقاعة عند ذلك ، قد امتلأت بهواء الرئتين الدافئ ، الذى هو اخف من هواء الغرفة ، فان الفقاعة المنفوخة ترتفع حالا الى الاعلى .

واذا استطعنا فى الحال نفخ فقاعة قطرها ١٠ سم ، تكون الرغبة صالحة ، واذا لم نستطع ذلك ، نضيف الى السائل كمية اخرى من الصابون ، الى ان نتمكن من نفخ فقاقيع بالحجم المذكور سابقا . ولكن هذه التجربة ليست كافية . بعد نفخ الفقاعة ، نغمس اصبعنا فى السائل الرغوى ونحاول ان نخرق الفقاعة بهذا الاصبع . فاذا لم تنفجر ، يمكننا ان نبدأ بالتجارب . اما اذا انفجرت الفقاعة ، فيجب عندئذ اضافة قليل من الصابون .

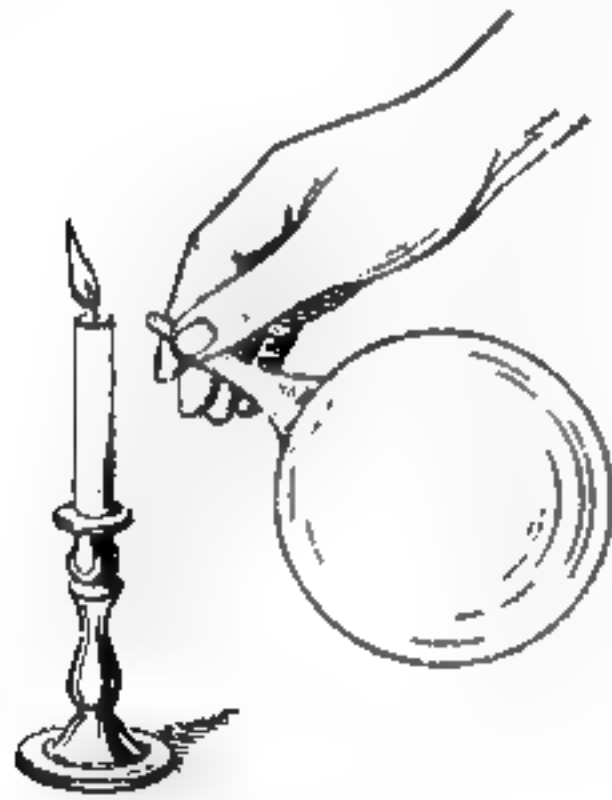
ويجب اجراء التجربة ببطء وحذر وهندوء . كما يجب ان تكون الاضاءة جيدة قدر الامكان ، والا فلن تظهر على الفقاعة تلك الالوان القوس قزحية . واليكم بعض التجارب المسلية ، المتعلقة بالفقاقيع .



شكل ٦٦ : تجارب بفقاقيع الصابون : فقاعة صابون على زهرة ؛ فقاعة صابون حول مزهرية ؛ عدد من الفقاقيع المتداخلة مع بعضها ؛ فقاعة على رأس تمثال صغير موجود فى داخل فقاعة اخرى .

فقاعة صابون حول زهرة . نصب سائلا رغويا (رغوة صابون) فى طبق ، بحيث يصبح قعر الطبق مغطى بطبقة رغوية يتراوح سمكها بين ٢ - ٣ مم ، ونضع فى الوسط زهرة او مزهرية صغيرة ، ثم نغطى الطبق بقمع زجاجى . وبعد ذلك نرفع القمع ببطء ، وننفخ فى انبوبة الضيقة ، فتكون فقاعة صابون ، وعندما يصل حجمها الى حد كاف ، نميل القمع بالطريقة الموضحة فى الشكل ٦٦ ، فتحرر الفقاعة من تحته . عندئذ تصبح الزهرة موضوعة تحت طاقة نصف كروية شفافة ، منسوجة من غشاء فقاعة الصابون وملونة بجميع ألوان قوس قزح .

ويمكن أخذ تمثال صغير بدلا من الزهرة (شكل ٦٦) . نتوج رأسه بفقاعة صابون وللقيام بذلك لابد أولا . من سكب عدة قطرات من السائل الرغوى ، على رأس التمثال ، وبعد ان يتم نفخ الفقاعة الكبيرة ، نخرقها وننفخ فى داخلها فقاعة صغيرة . عدة فقائيع متداخلة (شكل ٦٦) . نستخدم القمع المذكور فى التجربة السابقة ، لنفخ فقاعة صابون كبيرة كما فعلنا من قبل . ثم نغمس انبوبة القش فى السائل الرغوى تماما ، بحيث يبقى طرفها الذى نضعه فى فمنا جافا ، وندخله بحذر فى جدار الفقاعة



شكل ٦٨ : ان جدران المقاعة تضغط الهواء الموجود فى داخلها وتطرده الى الخارج .



شكل ٦٧ . كيفية عمل فقاعة صابون اسطوانية الشكل .

الاولى ، الى المركز ، ثم نسحب الانبوبة الى الوراء ببطء دون ان نوصلها الى الحافة .
وننفخ الفقاعة الثانية فى داخل الفقاعة الاولى ، وتليها الفقاعة الثالثة والرابعة وهلم جرا .
ويمكن تكوين فقاعة صابون اسطوانية (شكل ٦٧) بين حلقتين سلكيتين .
ولهذا الغرض تنفخ على الحلقة السفلى ، فقاعة كروية عادية ، ثم توضع الحلقة الثانية
بعد تبليها فوق هذه الفقاعة . ثم نسحبها الى الاعلى الى ان يصبح شكل الفقاعة اسطوانيا .
ومن الجدير بالملاحظة هنا ، اننا اذا رفعنا الحلقة العليا الى ارتفاع اكبر من طول محيط
الحلقة ، فان احد نصفي الاسطوانة يصبح ضيقا ، والنصف الآخر واسعا ، ثم يفصل
النصفان عن بعضهما ليكونا فقاعتين مستقلتين .

ويكون غشاء فقاعة الصابون فى حالة شد على الدوام وبضغط على الهواء المحصور
فى داخله ، فاذا وجهنا فوهة القمع نحو لهب شمعة ما ، لوجدنا ان قوة الغشاء الرقيق ،
ليست ضئيلة جدا ، اذ انها تجعل لهيب الشمعة ينحرف جانبا بوضوح (شكل ٦٨) .
ومن الممتع ملاحظة الفقاعة ، عندما تنتقل من وسط دافئ الى آخر بارد ، اذ
انها تصبح اصغر حجما من السابق ، وبالعكس ، يزداد حجمها عند انتقالها من وسط
بارد الى آخر دافئ . ويكمن السر هنا ، بطبيعة الحال ، فى انضغاط وتمدد الهواء
المحصور فى داخل الفقاعة .

واذا بلغ حجم الفقاعة ، مثلا عند درجة حرارة قدرها - ١٥ ° مئوية ، ١٠٠٠ سم^٣ ،
وانتقلت الفقاعة من ذلك الوسط البارد الى وسط تبلغ درجة حرارته + ١٥ ° مئوية ، فان
حجمها سيزداد تقريبا بمقدار

$$110 \text{ سم}^3 = \frac{1}{273} \times 30 \times 1000 \text{ سم}^3 \text{ تقريبا.}$$

وتجدر الاشارة ايضا ، الى ان التصورات العادية ، حول عدم بقاء فقائيع الصابون
لمدة طويلة ، ليست صحيحة تماما . اذ يمكن بالعناية الملائمة ان نحفظ الفقاعة لمدة
عشرة ايام كاملة . وقد قام الفيزيائى الانكليزى ديولر (المشهور بابحائه الخاصة باسالة

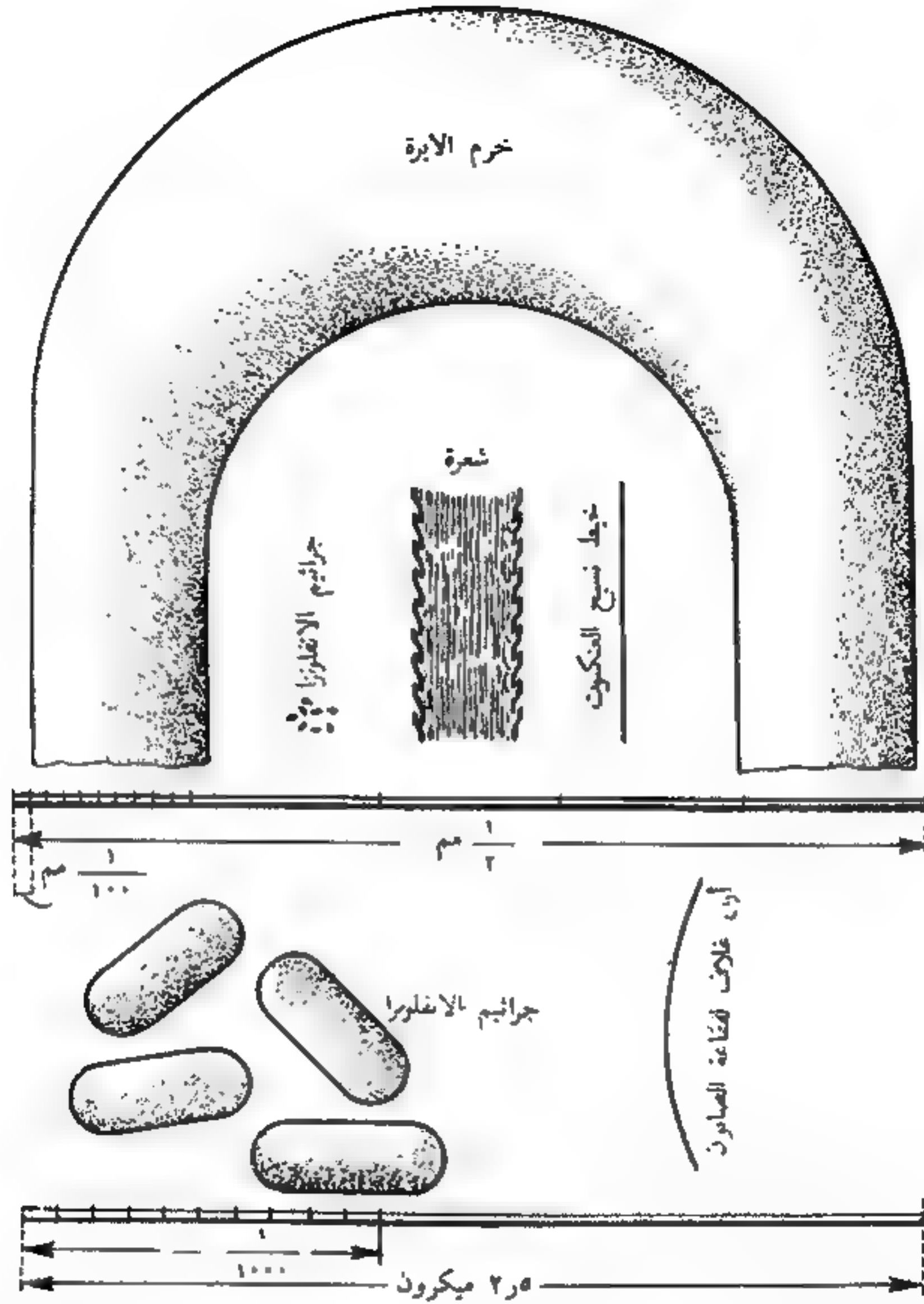
الهواء) بحفظ فقائيع صابون في زجاجات خاصة ، بعيدة تماما عن الغبار والجفاف والهزات الهوائية ، وقد تمكن في مثل هذه الظروف ، من حفظ بعض الفقائيع لمدة شهر واكثر . وقد استطاع لورنس الامريكى ، ان يحفظ فقائيع الصابون تحت طواقى (اجراس) زجاجية ، لعدة سنوات .

ما هو ارق شيء ؟

من المحتمل ان قليلا من الناس ، يعرفون ان غشاء فقاعة الصابون ، يعتبر من احد الاشياء المتناهية فى الرقة ، التى يمكن رؤيتها بالعين المجردة . ان الاشياء العادية التى تضرب الامثال فى رقتها ، تكون على درجة كبيرة من الخشونة اذا ما قورنت بغشاء فقاعة الصابون . والاشياء التى يقال عنها « رقيقة مثل الشعرة » او « رقيقة مثل ورق السجاير » ، تكون فى الواقع ثخينة للغاية اذا ما قورنت بسمك غشاء فقاعة الصابون ، الذى يقل سمكه بـ ٥٠٠٠ مرة عن سمك الشعرة او سمك ورق السجاير . وعندما تكبر حجم الشعرة البشرية بمقدار ٢٠٠ مرة ، يصل سمكها الى ١ سم تقريبا ، بينما لا يصل سمك مقطع غشاء الفقاعة ، عند تكبيره بنفس المقدار ، الى حد يجعلنا نراه بالعين المجردة . ولكى نستطيع رؤية مقطع غشاء فقاعة الصابون ، على هيئة خط رفيع ، لا بد من تكبيره بمقدار ٢٠٠ مرة اخرى . اما اذا كبرنا الشعرة بهذا القدر (٤٠٠٠٠ مرة) ، فسيزيد سمكها على ٢ م . والشكل ٦٩ ، يعطينا صورة واضحة للنسب المذكورة .

الاصابع التى لا تتبلل بالماء

ضع قطعة نقود على طبق مسطح كبير ، ثم صب الماء فى الطبق الى ان يغطى قطعة النقود ، واطلب من ضيوفك ان يلتقطوا قطعة النقود من الماء ، بايديهم العارية ، دون ان يبللوا اصابعهم . ان هذه المسألة التى يبدو ان تحقيقها يستحيل ، يمكن حلها بسهولة ، باستخدام قدح وقطعة ورق ملتصقة . نشعل الورقة ، ونضعها وهى ملتهبة فى داخل



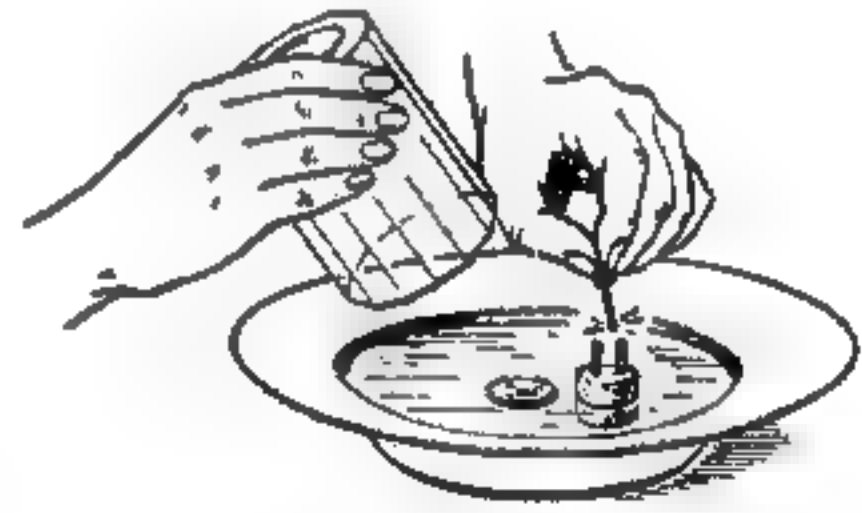
شكر ٦٩ : الرسم العلوي - خرم الابرة ، شعرة واحدة ، الجراثيم (العصيات) ونسيج العنكبوت ،
 مكبرة ٢٠٠ مرة . الرسم السفلي - العصيات وسلك غلاف فقاعة الصابون ، مكبرة ٤٠٠٠٠ مرة ،
 ١ ميكرون = ٠.٠٠٠١ سم

القدح . ثم نقلب القدح ونضعه بسرعة على الطبق بالقرب من قطعة النقود . وعند ذلك سوف تنطفئ الورقة المشتعلة ويمتلئ القدح بدخان ابيض ، وبعد هذا يتجمع الماء الموجود في الطبق برمته ، تحت القدح . اما قطعة النقود فتبقى في مكانها بالطبع ، وتجف بعد دقيقة واحدة ، وعندئذ يمكننا التقاطها دون ان تبلل اصابعنا .

فما هي القوة التي دفعت الماء الى القدح ، وجعلته يقف عند مستوى معين ؟ انها قوة الضغط الجوي . ان الورقة الملتهبة عملت على تدفئة الهواء الموجود داخل القدح ، وبذلك ارتفع ضغطه ، وخرج قسم منه الى الخارج . وعند انطفاء الورقة الملتهبة ، برد الهواء مرة اخرى . عندئذ اصبح ضغطه ضعيفا ، فاندفع الماء الى القدح تحت تأثير الضغط الجوي في الخارج .

ويمكن بدل الورقة ، استخدام عيدان ثقاب بعد حشرها في قرص صغير من الفلين (شكل ٧٠) .

وكثيرا ما نسمع او نقرأ تفسيرات خاطئة ، متعلقة بهذه التجربة القديمة * ، ومن تلك التفسيرات على الاخص ، القول بان « احتراق الاكسجين » يؤدي الى تقليل كمية الغاز الموجود تحت القدح . ان هذا التفسير خاطئ جدا لان السبب الرئيس يكمن في تدفئة الهواء فقط ، وليس في استهلاك قسم



من الاكسجين عند احتراق قطعة الورق الملتهبة . وتستخلص هذه النتيجة ، اولا ، من امكانية القيام بهذه التجربة بدون استخدام ورقة ملتهبة ، بل بمجرد تدفئة القدح بالماء الحار . وثانيا ، اذا استخدمنا بدل الورقة الملتهبة ، قطعة من القطن مبللة بالكحول ، وهي تشتعل لمدة اطول وتسخن الهواء بصورة

شكل ٧٠ : كيفية التقاط قطعة النقود من الماء . بدون تبليل الاصابع .

* ان اول من وصف هذه التجربة وفسرها تفسيراً صحيحاً ، هو الفيزيائي القديم فيلون ابيزنطى ، اذى عاش في القرن الاول قبل الميلاد .

اشد ، لوجدنا ان الماء يرتفع تقريبا الى منتصف القدح ، بينما المعروف عن الاكسجين ، انه يشغل $\frac{1}{8}$ حجم الهواء باجمعه فقط . واخيرا ، يجب ان تأخذ في الاعتبار ، ان الاكسجين « المحترق » ، يخلّف وراءه غاز ثانى اكسيد الكربون وبخار الماء ، والحقيقة ، فان الغاز يذوب فى الماء . اما البخار فيبقى ليحل محل قسم من الاكسجين .

كيف نشرب ؟

هل ان هذا السؤال يستحق التفكير ؟ بالطبع . فعندما نشرب ، نقرب القدح او المعلقة المحتوية على السائل ، من الفم ، ثم نرتشف السائل الذى فيها . ان ارتشاف السائل بهذه الطريقة البسيطة التى اعتدنا عليها ، يحتاج الى تفسير . لماذا يندفع السائل الى فمنا ؟ وما الذى يدفعه الى ذلك ؟ السبب هو اننا عند الشرب ، نوسع القفص الصدرى ، وبذلك نخلخل الهواء الموجود فى الفم ، وتحت تأثير الضغط الجوى ، يندفع السائل الى الفراغ الذى يكون فيه الضغط اقل ، وبذلك يدخل الى الفم . وهنا يحدث للسائل نفس الشيء الذى يحدث له فى الاوانى المستطرفة ، اذا خلخلنا الهواء فوق احد الاوانى المذكورة ، لان السائل سيرتفع فى هذا الاناء تحت تأثير الضغط الجوى . وعلى العكس من ذلك ، لو وضعنا عتق الزجاجية فى فمنا ، وارَدنا ان نرتشف منها الماء ، لما استطعنا القيام بذلك مهما بذلنا من جهد ، وذلك لان ضغط الهواء فى داخل الفم يساوى ضغط الهواء الموجود فى الزجاجية فوق الماء . وهكذا فاننا على وجه التدقيق ، لا نشرب بالفم فقط ، بل وبالرئتين ايضا ، لأن توسع الرئتين بالذات يؤدى الى اندفاع السائل نحو الفم .

قمع محسن

ان كل من قام بصب سائل ما فى قنينة زجاجية بواسطة قمع ، يعرف انه لا بد من رفع القمع الى الاعلى من وقت لآخر ، والا فلن ينساب منه السائل . ان الهواء المحصور فى داخل القنينة ، لا يجد له منفذا ، فيضغط على الماء الموجود فى القمع ويمنعه من

الانسياب . وفي الحقيقة ، فان قليلا من السائل ينساب الى الاسفل ، بحيث ينضغط الهواء الموجود في القنينة بعض الشيء ، نتيجة لضغط السائل . ولكن ستكون للهواء المحصور في حجم مصغر ، مرونة عالية ، تكفى لجعل السائل الموجود في القمع يتوازن مع ضغط الهواء . ومن المفهوم اننا برفع القمع الى الاعلى ، نفتح منفذا لخروج الهواء المضغوط الى الجو ، وعندئذ يبدأ السائل بالانسياب من جديد .

ولذلك فمن المفيد عمليا ، انتاج القمع بحيث يحتوى قسمه الضيق على نتؤات طولية على سطحه الخارجى ، وهذه النتوءات تحول دون التصاق القمع بعنق القنينة الزجاجية .

طن خشب وطن حديد

هناك سؤال هزلى معروف لدى الجميع هو : ايهما اثقل ، طن من الخشب ام طن من الحديد ؟ وعادة ، يأتى الجواب بلا تفكير ، بان طن الحديد اثقل ، الامر الذى يشير الضحك بين السامعين .

وربما يتعالى ضحك الناس الظرفاء ، اذا اتاهم الجواب بان طن الخشب اثقل من طن الحديد . يبدو ان هذا الجواب لا يصدق مطلقا ، ولكنه صحيح بكل معنى الكلمة . وتفسير ذلك هو ان قانون ارخميدس لا ينطبق على السوائل فقط ، بل وينطبق على الغازات ايضا . ان كل جسم موجود في الهواء ، يفقد من وزنه مقدارا يساوى وزن الهواء الذى يزيحه الجسم . وبالطبع ، فان الخشب والحديد ايضا ، يفقدان جزءا من وزنيهما في الهواء . ولكى نحسب وزنيهما الحقيقيين ، يجب اضافة الفقدان . وهكذا ، فان الوزن الحقيقى للخشب في هذه الحالة يساوى ١ طن + وزن الهواء الذى يزيحه الخشب ، والوزن الحقيقى للحديد يساوى ١ طن + وزن الهواء الذى يزيحه الحديد . ولكن طن الخشب يشغل حجما اكبر بكثير من الحجم الذى يشغله الحديد (١٥ مرة) . ولذلك ، فان الوزن الحقيقى لطن الخشب ، اكبر من الوزن الحقيقى لطن الحديد ! واذا اردنا التعبير الدقيق ، لوجب علينا ان نقول بان الوزن الحقيقى للخشب الذى يزن في الهواء

طنا واحدا ، اكبر من الوزن الحقيقى للحديد الذى يزن فى الهواء طنا واحد ايضا . وبما ان طن الحديد يشغل حجما قدره $\frac{1}{8}$ م^٣ ، بينما يشغل طن الخشب حوالى ٢ م^٣ ، فان الفرق بين وزنى الهواء المزاح فى الحالتين ، يجب ان يساوى ٢ر٤ كجم تقريبا . وهكذا يكون الوزن الحقيقى لطن الخشب اكبر من الـ وزن الحقيقى لطن الحديد بمقدار ٢ر٥ كجم

الرجل الذى فقد وزنه

ان الحلم الذى يراود الكثيرين فى مرحلة الطفولة ، هو ان يصبح جسمنا خفيفا ليس مثل الزغابة فحسب ، بل اخف من الهواء * ، لكى نستطيع بتخلصنا من قيود الجاذبية المزعجة ، ان نرتفع بحرية فى الجو اينما اردنا . وعند التفكير فى ذلك ، يغيب عن بال الناس شىء واحد ، هو انهم يستطيعون ان يتحركوا على الارض بحرية ، لسبب واحد فقط ، هو ان اجسامهم اثقل من الهواء . واذا اردنا الحقيقة ، فاننا « نعيش على قاع المحيط الهوائى » - كما عبر عن ذلك العالم تورينشيللى . واذا اصبحنا لسبب ما ، اخف من الهواء ، لتحتم علينا ان نرتفع سباحة الى سطح هذا المحيط الهوائى . ولحدث لنا نفس الشىء الذى حدث لذلك العسكرى المذكور فى احدى روايات بوشكين ، عندما قال « لقد شربت كل ما فى القنينة ، صدق او لا تصدق - ولكنى فجأة وجدت نفسى معلقا فى الهواء مثل الريشة » . ونحن كذلك ، كنا سنرتفع فى الهواء لعدة كيلومترات بكاملها الى ان نصل المنطقة ، التى تكون فيها كثافة الهواء المخلخل ، مساوية لكثافة اجسامنا . وهكذا ، فان احلام التحليق بحرية فوق الجبال والوهاد ، ستبخر فى الحال ، وذلك لاننا بتحررنا من قيود الجاذبية ، سنصبح فى الحال مقبدين باصفاد قوة اخرى هى التيارات الهوائية .

* ان الزغابة - خلافا للعكرة الشائعة - اثنل من الهواء بمئات المرات . وهى تحلق فى الجو لسبب واحد ، هو ان مساحة سطحها كبيرة جدا ، بحيث تكون مقاومة الهواء لحركتها هائلة اذا ما قورت بوزنها .



شكل ٧١ : قال بايكرافت : انا هنا يا صديقي !

وقد اختار الكاتب ويلز مثل هذه الحالة الشاذة ، ليجعل منها موضوعا لاحدى قصصه الخيالية .

اراد شخص بدين جدا ، ان يخفف من وزنه ، مهما كلفه الامر . ويبدو انه كانت فى حوزة القاص وصفة عجيبة ، تجعل الشخص البدين يتخلص من وزنه الثقيل جدا . وقد أخذ الرجل البدين من القاص ، تلك الوصفة ، وشرب الدواء — وقد اصيب

القاص بالذهول ، لتلك المفاجأة التي لم يتوقعها ، فعندما أتى لزيارة صديقه البدين وطرق عليه الباب :

« مضت فترة طويلة دون ان يفتح الباب . وسمعت صوت المفتاح وهو يدور في ثقبه ، وتبعه صوت بايكرافت (وهو اسم الرجل البدين) قائلا :
— ادخل ..

ادرت مقبض الباب وفتحته . وقد توقعت بالطبع ان ارى بايكرافت ، ولكنه لم يكن موجودا ! وقد كانت الغرفة غير منتظمة ، فالأطباق واللاواني داخلة بين الكتب ، وكانت ادوات الكتابة وبعض الكراسي مقلوبة . اما بايكرافت ، فلم يكن موجودا ...
— انا هنا يا صديقي ! اقبل الباب ..

قال ذلك ، وعندئذ عثرت عليه . كان موجودا عند افريز السقف ، في الزاوية القريبة من الباب ، كما لو ان احدا ما قد لصقه بالسقف تماما . وقد بدا الغضب على وجهه ، الذي كان يعبر عن الرعب . فقلت له :

— اذا حدث وسقطت على الارض ، فستنكسر رقبتك .

فاجاب :

— تمنيت لو حدث ذلك . .

فسأله :

— كيف يستطيع من كان بعمره ووزنه ان يزاول مثل هذه التمارين الرياضية ...

ولكن يا للشيطان .. كيف استطعت التعلق بهذا الشكل ؟

ولاحظت فجأة ، انه لم يتعلق بشيء مطلقا ، ولكنه كان يسبح في الاعلى ، مثل الفقاعة المنفوخة بالغاز .

وحاول بجهد ان يبتعد عن السقف ، ويزحف نحوى الى الاسفل بمحاذاة الجدار . وامسك باطار اللوحة المعلقة ، فاجذب الاطار .. اما هو ، فطار الى السقف ثانية . واصطدم به ، وعندئذ فهمت لماذا كانت الاجزاء والزوايا البارزة من جسمه ، ملوثة بالطباشير (الجير) . وحاول مرة اخرى وبحذر شديد ، ان يهبط عن طريق موقد التدفئة .

ثم قال وهو يلهث :

— لقد كان الدواء ناجما جدا ، اد جعلنى افقد وزنى تماما .

وهنا ادركت كل شيء ، وقتت له :

— بايكرافت ! لقد كنت بحاجة الى التخلص من البدانة ، التى كنت تسميها

دائما بالوزن .. والآن سوف اساعدك على الوقوف — قلت ذلك وامسكت بيده ثم سحبتة الى الاسفل .

وأخذ يتراقص فى الغرفة ، ويحاول ان يجد موطئا لقدميه ، اينما كان . لقد كان

منظره مضحكا ! وقد كنت كثير الشبه ، بمن يحاول منع الشارع من الحركة عندما تكون الرياح قوية .

وقال بايكرافت البائس :

— ان هذه المنضدة تصمد للرقص ، فهى صلبة وثقيلة جدا .. فهل لك ان تحشرنى

تحتها ؟

وقد فعلت ما طلب منى . ولكنه وهو محشور تحت تلك المنضدة ، كان يتأرجع

هناك مثل بالون مربوط ، لا يهدأ حتى لدقيقة واحدة . ثم قلت له :

— هناك شيء واضح .. وهو بالذات ، الشيء الذى يجب الا تفعله . فاذا فكرت

بالخروج من البيت مثلا ، فانك سوف ترتفع الى الاعلى اكثر فاكتر ..

واقترحت عليه وجوب التكيف لظروفه الجديدة . والمحت بانه سوف لا يجد

صعوبة فى تعلم المشى على السقف باستخدام يديه .

ثم قال متنفرا :

— اننى لا استطيع النوم .

واشرت قائلا ، انه من الممكن تماما ان نثبت بشبكة السرير حشية وثيرة ، ثم

نربط معها كافة الاشياء الداخلية بواسطة شرائط ، ونشد على الجنب لحافا وشرشفا .

واحضرنا له سكرنا خشبيا ووضعناه فى الغرفة ، كما وضعنا الطعام كله فوق خزانة

الكتب . واهتدينا كذلك الى بدعة طريقة ، تمكن بايكرافت بفضلها ، ان يهبط الى

الارض متى اراد ذلك . وتتلخص تلك البدعة فيما يلي :

كانت « الموسوعة البريطانية » موضوعة على الرف العلوى للمخزنة المفتوحة ، فاذا اراد بايكرافت الهبوط الى الارض ، فلن يكلفه ذلك اكثر من تناول جزءين من اجزاء الموسوعة بكتلتا يديه .

وقد بقيت معه فى الشقة لمدة يومين كاملين . واستطعت بواسطة المطرقة والمُقب ان اقيم له كافة التجهيزات المبتكرة الممكنة ، وقد مددت له سلكا لكى يستطيع ان يصل الى الاجراس ، وغير ذلك .

ثم جلست بجوار الموقد . اما هو فقد كان معلقا فى زاويته المفضلة ، عند الافريز بعد ان غطى السقف ببساط تركى ، وكانت تراودنى عندئذ فكرة جعلتنى اهتف قائلا :

— بايكرافت ! لا حاجة لنا بكل ما فعلناه فلو وضعت بطانة من الرصاص تحت ثيابك لانتهى الامر !

وكاد بايكرافت ان يبكى من الفرح عندما سمع ذلك . واستطردت الحديث قائلا :
— يجب شراء صفائح من الرصاص والقيام بخياطتها تحت ملابسك . البس احذية تحتوى على نعال من رصاص ، واحمل بيديك حقيبة من الرصاص الصلب ، وسيصبح كل شىء على ما يرام ! وسوف لا تكون بعد ذلك اسيرا هنا ، حيث تستطيع السفر الى الخارج والقيام برحلات بعيدة . وعندئذ لن يخيفك تحطم السفينة مطلقا ، فما عليك فى تلك الحالة ، الا ان تلقى عن جسمك بعض الملابس او كلها ، ويكون فى استطاعتك دائما ان تطير فى الهواء .

ان ذلك كله ، يبدو من النظرة الاولى مطابقا تماما لقوانين الفيزياء . ولكن يجب الا ندع بعض تفاصيل القصة الاخرى ، تمر دون ان يعترض عليها . واهم اعتراض ، هو ان الرجل البدين ، بالرغم من كونه عديم الوزن ، لم يكن قادرا على الارتفاع الى سقف الغرفة .

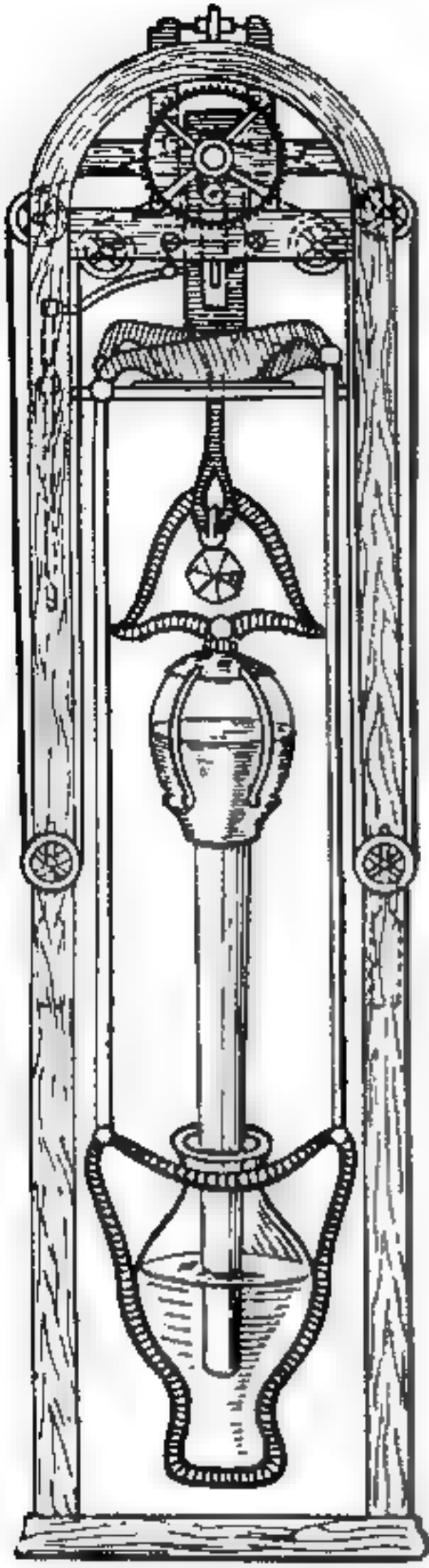
وبالفعل ، كان على بايكرافت ، حسب قانون ارخميدس ، ان يسبح نحو السقف

فى حالة واحدة هى : لو كان وزن ثيابه وكافة الحاجيات الموجودة فى جيوبه ، اقل من وزن الهواء الذى يزيحه جسم الرجل البدين . ماذا يساوى وزن الهواء الذى يزيحه الجسم ؟ ليس من الصعب حساب ذلك ، اذا تذكرنا ان وزن جسمنا ، يساوى تقريبا وزن نفس الحجم من الماء . ويبلغ معدل وزن جسم الانسان ٦٠ كجم ، ووزن نفس الحجم (حجم الجسم) من الماء ، يساوى نفس المقدار السابق تقريبا . اما الهواء العادى الكثافة فهو اخف من الماء بمقدار ٧٧٠ مرة ، وهذا يعنى ان وزن الهواء الذى يزيحه الجسم ، يساوى ٨٠ جم فقط . ومهما كان السيد بايكرافت بدينا ، فلم يكن وزنه يزيد على ١٠٠ كجم ، وبالتالي لم يكن بمقدوره ان يزيح اكثر من ١٣٠ جم من الهواء . وليس من المعقول الاتزن ثياب بايكرافت مع حذائه وساعته ومحفظته وغير ذلك ١٣٠ جم ؟

اذا كان الامر كذلك ، لوجب على الرجل البدين ، البقاء على ارض الغرفة ، ولكن فى وضعية حرجية ، ومع ذلك فلن يسبح نحو السقف « مثل بالون مربوط » . وكان يتحتم على بايكرافت ان يسبح الى السقف فعلا ، لو تعرض من ثيابه تماما . اما عندما كان مريديا ثيابه ، فقد كان شبيها بشخص مربوط بمنطاد ، فلو قام بجهد بسيط او قفزة هادئة ، لحمله المنطاد الى ارتفاع شاهق فوق سطح الارض ، ثم هبط به ثانية الى الاسفل بكل سلاسة ، عندما تكون الرياح ساكنة .

ساعة «دائمة الحركة»

لقد بحثنا فى هذا الكتاب عددا من «المحركات الدائمة الحركة» المزعومة ، وبيننا عدم جدوى التفكير بمحاولة اختراعها . ولنتحدث الآن عن محرك «الطاقة الممنوحة» ، اى عن ذلك المحرك ، القابل للعمل المستمر دون ان نعتنى بامره ، لانه يتروّد بالطاقة اللازمة لحركته ، من مصادرها التى لا تنضب ، الموجودة فى الوسط المحيط .



شكل ٧٢ : تركيب
محرك الطاقة الموهوبة ،
الذي تم صنعه في القرن الثامن
عشر .

لا بد وان معظم القراء قد شاهدوا البارومتر -
الزئبقي او المعدني . ان سطح العمود الزئبقي في
البارومتر الاول ، يكون دائما اما في حالة ارتفاع او
في حالة انخفاض ، تبعا لتغير الضغط الجوي . وفي
البارومتر المعدني يكون المؤشر دائم التذبذب ، لنفس
السبب السابق . وفي القرن الثامن عشر ، استخدم
احد المخترعين حركات البارومتر هذه ، لتشغيل آلية
الساعة . واستطاع بهذا الشكل صنع ساعة تشتغل من
تلقاء نفسها دون ان تتوقف او تحتاج الى اى تدوير .
وقد شاهد العالم الفلكي والميكانيكي الانكليزي المشهور
فيرجوسون ، تلك الساعة الجذابة ، وكتب (عام
١٧٧٤) يصف مشاهدته لها قائلا : « لقد فحمت
الساعة المذكورة اعلاه ، التي تتحرك باستمرار ،
بواسطة ارتفاع وانخفاض الزئبق الموجود في بارومتر
خاص الصنع ، وليس هناك ما يدعو الى التفكير
بان تلك الساعة ستتوقف في وقت ما ، وذلك لان
القوة المحركة المخزونة فيها ، تكفى لتشغيل الساعة
لمدة عام كامل ، حتى بعد ابعاد البارومتر نهائيا .
ويجب ان اقول بكل صراحة ، لقد ظهر لي بعد ان
تفقدت الساعة مدة طويلة ، انها اظرف آلة رأيتهما
حتى الآن ، من كلتا الناحيتين ، التصميمية والتنفيذية .
ولكن للأسف ، لم تحفظ تلك الساعة الى يومنا هذا .
اذ انها سرقت ولم يعثر عليها بعد ذلك . ولحسن الحظ ،
بقيت مخططاتها التصميمية التي رسمها العالم فيرجوسون ،

وبذلك نستطيع اعادة تركيبها من جديد . تتكون آلية الساعة من بارومتر زئبقى ضخم ، يحتوى على ١٥٠ كجم من الزئبق ، الموضوع فى وعاءين زجاجيين ، ادخل عنق احدهما فى فوهة الآخر بصورة عمودية ، وعلق كلاهما باطار (شكل ٧٢) . وقد تم تثبيت الوعاءين بحيث يتحركان بالنسبة لبعضهما البعض . فعندما يرتفع الضغط الجوى ، تقوم مجموعة من العتلات المصنوعة بمهارة ، بخفض الوعاء العلوى ورفع الوعاء السفلى . اما عندما ينخفض الضغط الجوى ، فيحدث العكس . وتعمل هاتان الحركتان على تدوير عجلة مسننة صغيرة ، فى اتجاه واحد على الدوام . ولا تتوقف العجلة الا عندما لا يحدث اى تغير فى الضغط الجوى ، ولكن فى تلك الاثناء ، تستمر الآلية فى حركتها ، باستخدام الطاقة الكامنة لهبوط الانتقال المربوطة بها . وليس من السهل جعل الانتقال ترتفع الى الاعلى فى وقت واحد ، وتعمل عند هبوطها على ادارة آلية الساعة . ولكن مهارة صناع الساعات القدماء ، سهلت القيام بهذه المهمة . حتى لقد ظهر ان طاقة تغير الضغط الجوى ، كانت تفيض عن الحاجة ، اى ان الانتقال أخذت ترتفع اسرع مما تهبط ، ولهذا فقد ظهرت الحاجة الى جهاز خاص لمنع هبوط الانتقال بصورة دورية ، كلما وصلت الى النقطة العليا .

ومن السهل ملاحظة الاختلاف المبدئى المهم بين هذه الساعة وامثالها من محركات « الطاقة الممنوحة » ، وبين المحركات « الدائمة الحركة » . وفى محركات « الطاقة الممنوحة » لا تتولد الطاقة من العدم ، كما كان يفكر اولئك الذين اخترعوا المحرك الدائم الحركة ، بل انها تستمد من الخارج ، وفى حالتنا هذه - من المحيط الجوى ، حيث تكون مخزونة فى اشعة الشمس . ومن الناحية العملية ، فقد كان من الممكن الا تقل فائدة محركات « الطاقة الممنوحة » عن فائدة المحركات « الدائمة الحركة » الحقيقية ، لو لم يكن صنعها يكافئ مبالغ طائلة بالمقارنة مع ما تعطيه من طاقة (كما يحدث فى اكثر الاحيان) .

وستعرف فيما بعد ، على انواع اخرى من محركات « الطاقة الممنوحة » ونوضح بالامثلة ، لماذا يكون استخدام مثل هذه الآلات فى الصناعة ، كقاعدة ، غير مشر على الاطلاق .

متى تكون السكة الحديدية اطول - صيفا ام شتاء ؟

ما هو طول السكة الحديدية الواصلة بين مدينتي موسكو ولينينغراد ؟ لقد اجاب احدهم على هذا السؤال قائلا :

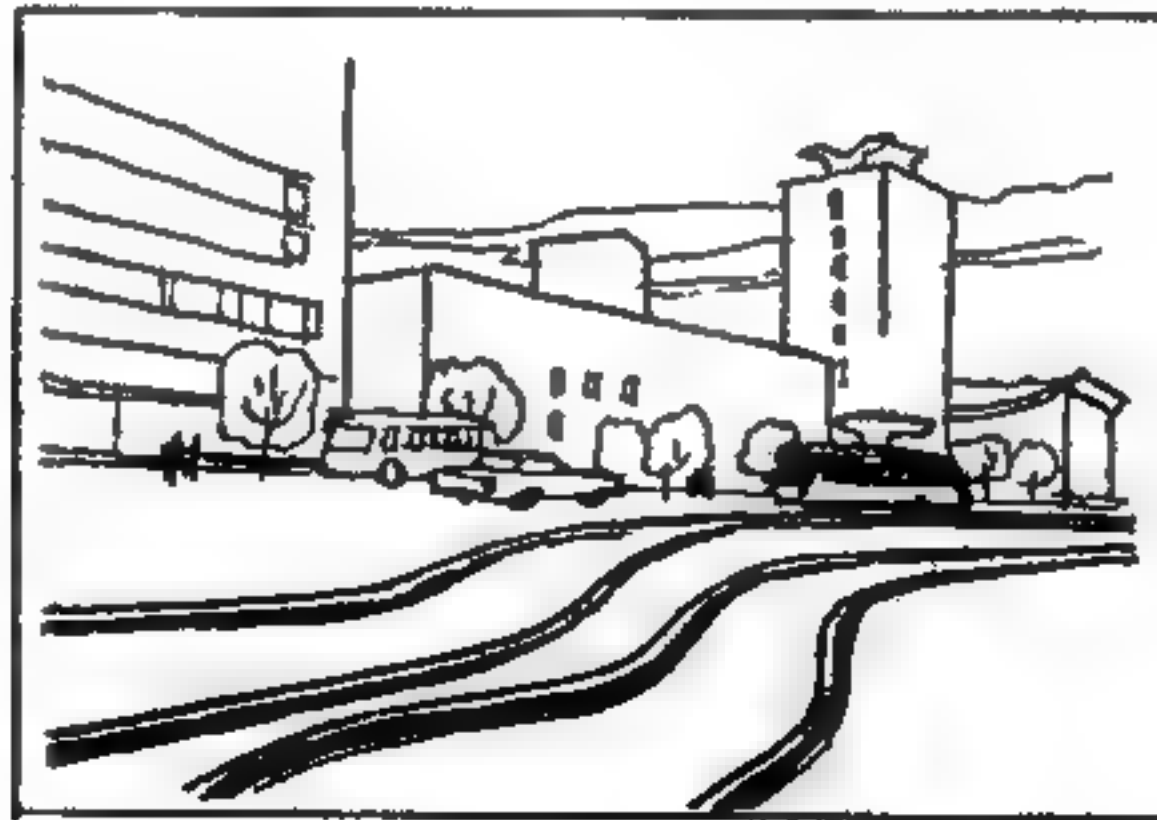
- طولها ٦٤٠ كم فى المعدل ، وفى الصيف تكون اطول مما هى عليه فى الشتاء بمقدار ٣٠٠ م .

وهذه الاجابة غير المتوقعة ، ليست سخيفة كما قد يبدو . ذلك لاننا لو قصدنا بطول السكة الحديدية ، هو طول القضيب الحديدى الصلب . عندئذ يجب ان يكون فى الصيف اطول مما هو عليه فى الشتاء . اذ يجب عدم تجاهل الظاهرة المعروفة وهى ان

القضبان الحديدية تتمدد نتيجة التسخين بمقدار يزيد عن $\frac{1}{1000000}$ من طولها ، كلما ارتفعت درجة الحرارة ، درجة مئوية واحدة . وفى ايام الصيف القائظة ، قد تصل درجة حرارة القضيب الى ما يتراوح بين ٣٠ - ٤٠° مئوية واكثر ، وحيانا يسخن القضيب تحت حرارة الشمس ، بدرجة شديدة بحيث نكتوى اليد عند ملامسته . وتنخفض درجة حرارة القضيب فى ايام البرد القارص الى - ٢٥° مئوية واقل . فاذا فرضنا ان الفرق بين درجة الحرارة صيفا وشتاء هو ٥٥° مئوية ، فبضرب الطول الكلى للقضيب ، وهو ٦٤٠ كم فى $\frac{1}{1000000}$ وفى ٥٥ ، ينتج حوالى $\frac{1}{3}$ كم . يستتج من ذلك ، ان طول السكة الحديدية الواصلة بين موسكو ولينينغراد ، يكون فى الصيف اطول مما هو عليه فى الشتاء بمقدار $\frac{1}{3}$ كم ، اى حوالى ٣٠٠ م .

والذى يتغير فى هذه الحالة ، ليس طول الطريق بالطبع ، ولكن مجموع اطوال جميع القضبان فقط . وهذا الامر يختلف عن سابقه . ذلك لان قضبان السكة الحديدية غير متصلة ببعضها اتصالا محكما ، بل توجد بينها فواصل - احتياط لتهدد القضبان بحرية عند تسخينها (عندما يصل طول القضبان الى ٨ م ، يجب ان يكون طول الخلوصل - الفاصلة - ٦ مم عند درجة الصفر المئوية . ولسد الخلوصل سدا محكما ، يجب رفع درجة حرارة القضيب الى ٦٥° مئوية .

وعند مد خطوط الترام ، لا يجوز ترك خلوصات - فواصل - وذلك بموجب الشروط التكنيكية . وهذا لا يسبب فى العادة ، تعرج القضبان ، لان تثبيتها فى داخل الارض ، يقلل من تفاوتات درجة الحرارة ، بالاضافة الى ان طريقة تثبيتها بالذات ، تحول دون تعرجاتها الجانبية . ومع ذلك فان قضبان الترام تتعرج فى ايام القىظ الشديد ، كما يتضح ذلك من الرسم المبين فى الشكل ٧٣ ، المستنسخ عن صورة فوتوغرافية . واحيانا يحدث نفس الشيء لقضبان السكة الحديدية .، وحقيقة الامر ، هى ان عربة القطار اثناء سيرها فوق المنحدرات تسحب معها قضبان السكة الحديدية - وفى بعض الاحيان تسحب القضبان والعوارض معا - مما يؤدى اخيرا الى تلاشى الخلوصات



شكل ٧٣ : تقوس سكك الترام الحديدية نتيجة لتسخين الشديد باشعة الشمس .

فى تلك الاقسام المذكورة من الطريق ، فتلتصق اطراف القضبان مع بعضها التصاقا محكما .

ويتضح من حسابنا السابق ، ان مجموع اطوال جميع القضبان ، يزداد على حساب الطول الكلى للخلوصات ، ويصل التمدد الكلى فى ايام الصيف القاطظ الى ٣٠٠ م ، بالمقارنة مع طوله فى ايام البرد القارص .
وهكذا تكون السكة الحديدية الواصلة بين مدينتى موسكو ولينينغراد ، فى الصيف ، اطول بمقدار ٣٠٠ م ، مما هى عليه فى الشتاء .

سرقة لا يعاقب عليها القانون

على خط لينينغراد - موسكو ، تفقد فى كل شتاء ، مئات الامتار من اسلاك التلغراف والتلفون ، دون ان يعثر لها على اثر ، ولم يقلق هذا الامر احدا من الناس ، بالرغم من معرفة هوية السارق معرفة تامة .
وبالطبع ، فان القارئ ايضا يعرف من هو السارق - انه الصقيع ! ان كل ما ذكرناه عن قضبان السكة الحديدية ، ينطبق تماما على خطوط المواصلات ، مع اختلاف واحد فقط ، هو ان اسلاك التلغراف النحاسية تتمدد بالحرارة ، اكثر من تمدد الفولاذ بمرّة ونصف . ولكن لا توجد هنا اية خلوصات ، ولذلك فاننا نستطيع التأكيد بلا تحفظات ، بان الخط التلغرافى - لينينغراد - موسكو ، يكون فى الشتاء اقصر بمقدار ٥٠٠ م ، مما هو عليه فى الصيف .

ان الصقيع يسرق كل شتاء حوالى نصف كيلومتر من الاسلاك دون ان يعاقب على ذلك ، ولكنه بالمناسبة ، لا يلحق اى ضرر بعمل التلغراف او التلفون ، ويقوم فى بداية الصيف باعادة المسروقات الى مكانها بانتظام . ولكن عندما يحدث مثل هذا الانضغاط الناتج عن البرد ، فى الجسور ، لا فى الاسلاك ، تكون العواقب سيئة فى بعض الاحيان .

واليكم ما جاء في الصحف الصادرة في شهر ديسمبر (كانون الاول) عام ١٩٢٧ ،
عن احدى الحوادث المماثلة :

« ان الصقيع الذى لم تعرفه فرنسا من قبل ، والذى دام عدة ايام ، عمل على الحاق
ضرر كبير بجسر نهر السين ، فى قلب العاصمة باريس . لقد تقلص الهيكل الحديدى
للعنبر نتيجة للبرد ، الامر الذى أدى الى قلع احجار رصف الطريق وتبعثرها فوقه ، ومنع
مرور وسائل النقل على الجسر ، مؤقتا » .

ارتفاع برج ايفل

اذا سئنا ما هو ارتفاع برج ايفل ، فاننا قبل ان نجيب بانه « ٣٠٠ م » ، يحتمل
ان نطلب من السائل ان يوضح لنا فى اى وقت من الاوقات - صيفا ام شتاء ؟
ان ارتفاع مثل هذا الانشاء الحديدى الضخم ، لا يمكن ان يبق ثابتا عند مختلف
درجات الحرارة . ونحن نعلم ان القضيب الحديدى الذى يبلغ طوله ٣٠٠ م يزداد طولاً
بمقدار ٣ مم ، كلما ارتفعت درجة حرارته درجة مئوية واحدة . وفى الايام الصحوه
الدافئة ، يمكن ان تصل درجة حرارة البرج الحديدى فى باريس الى ٤٠° مئوية ، بينما
تنخفض درجة حرارته فى الايام الممطرة الباردة الى ١٠° مئوية ، وتصل شتاء الى درجة
الصفر المئوى ، وحتى الى - ١٠° مئوية (ان الايام القاسية البرد قليلة جدا فى باريس) .
وكما نرى فان تغير درجة الحرارة يصل الى ٤٠° مئوية واكثر . يعنى ان ارتفاع برج
ايفل يمكن ان يتغير بمقدار $40 \times 3 = 120$ مم ، اى بمقدار ١٢ سم .
وقد لوحظ بواسطة القياسات المباشرة ، ان برج ايفل يتأثر بتغير درجة الحرارة ،
اكثر مما يتأثر الهواء : ان البرج يسخن ويبرد اسرع من الهواء ، ويتأثر بظهور الشمس
المفاجئ فى الايام الغائمة ، قبلما يتأثر الهواء . وقد تم ايجاد تغيرات ارتفاع برج ايفل ،
بواسطة سلك مصنوع من سبيكة خاصة من النيكل والفولاذ ، لا يتأثر طوله بتغير درجة
الحرارة تقريبا . وتسمى هذه السبيكة المدهشة بـ « الانفار » ، وهذه التسمية مأخوذة من
اللغة اللاتينية ومعناها « لا متغير » .

من قدح الماء الى مقياس منسوب الماء

ان ربة البيت الخبيرة . لا تصب الشاي فى الاقداح الا بعد ان تضع الملاعق فى داخلها ، وخاصة اذا كانت الملاعق فضية .

ان هذه الطريقة الصحيحة هى وليدة التجارب اليومية فى الحياة . على اى اساس بنيت هذه الطريقة ؟

لنشرح قبل ذلك ، لماذا تنصدع الاقداح الزجاجية عند صب الماء الحار فيها . ان السبب هو التمدد غير المنتظم للزجاج . والماء الحار عندما يصب فى القدح . فانه لا يسخن جدرانه فى الحال ، بل يسخن اولا الطبقة الداخلية للجدران ، فى الوقت الذى لم تسخن فيه الطبقة الخارجية بعد . وتمدد الطبقة الداخلية الساخنة فى الحال ، وتبقى الطبقة الخارجية على حالها ، وتعرض بالتالى الى ضغط قوى من الداخل . ويحدث الانفصام ثم يتصدع الزجاج او قد ينكسر .

ولا يجب التفكير فى انه باستطاعتنا تجنب مثل هذه المفاجآت ، اذا اقتنينا اقداحا سميكة الجدران . ان الاقداح السميكة الجدران ، هى اقل الاقداح مقاومة من هذه الناحية . وهذا واضح ، لان الجدار الرقيق يسخن بسرعة اكبر . وسرعان ما تتساوى درجة الحرارة فى جميع نواحيه وبذلك يتساوى تمدده ؛ بينما فى الجدار السميك . تسخن طبقة الزجاج ببطء .

ويجب الا ننسى شيئا واحدا ، وهو عندما نقوم بانتقاء الاوعية الزجاجية الرقيقة الجدران ، يجب ان نحرص على ان تكون قواعدهم رقيقة ايضا ، بالاضافة الى رقة جدرانها . عندما نصب الماء الحار ، تسخن القاعدة بالدرجة الرئيسية ، فاذا كانت سميكة فان القدح سينصدع مهما كانت رقة جدرانه . وكذلك فان الاقداح والفناجين الصينية ، المحتوية على بروزات حلقيه سميكة من الاسفل ، تكون سريعة الكسر . وكلما كان الاناء الزجاجى رقيق الجدران ، كلما امكن تعريضه للحرارة بلا خطر . ويستخدم الكيميائيون اوان زجاجية رقيقة الجدران جدا ، ويغنون الماء فى داخلها على لهب المصباح مباشرة ، غير قلقين على سلامة الاناء .

وبالطبع ، كان باستطاعتنا ان نعتبر الاناء الذي لا يتمدد عند التسخين مطلقا ، بمثابة اناء مثالي . ان الكوارتز يتمدد بالحرارة تمدا قليلا جدا : اقل من تمدد الزجاج بما يتراوح بين ١٥ - ٢٠ مرة .

ويمكن تسخين الاناء السميك المصنوع من الكوارتز الشفاف ، الى اى حد نريد ، دون ان ينكسر . ويمكن بكل جرأة ، ان نرمي اناء من الكوارتز ، مسخن حتى الاحمرار ، فى ماء مثلج ، دون اى قلق * . وهذا يرجع لدرجة ما ، الى ان الموصلية الحرارية للكوارتز ، اكبر من الموصلية الحرارية للزجاج بكثير .

والاقداح لا تنكسر عند التسخن السريع فقط ، بل وعندما تتعرض الى البرودة المفاجئة ايضا . والسبب فى ذلك ، هو التقلص غير المنتظم : عندما تبرد الطبقة الخارجية ، تتقلص وتضغط على الطبقة الداخلية بشدة ، تلك التى لم تبرد ولم تتقلص بعد . ولذلك وعلى سبيل المثال ، يجب الا يوضع البوقال الزجاجى المحتوى على مربي حار ، فى محل بارد ، او غطه فى ماء بارد وغير ذلك .

نعود الآن الى ملعقة الشاي الموضوعة فى القدح . الى اى شيء يستند عملها الوقائى ؟

ان الاختلاف الشديد بين تسخن الطبقتين الداخلية والخارجية لجدار القدح الزجاجى ، يحدث فقط ، عندما نصب فى القدح ماء حارا دفعة واحدة . والماء الدافئ لا يؤدى الى اختلاف شديد فى التسخين ، وبالتالي الى اختلاف فى تمدد مختلف اجزاء القدح ، لذا لا ينكسر القدح بتأثير الماء الدافئ .

ماذا يحدث اذن لو وضعنا فى القدح ملعقة ؟ عند ملاسة الماء الحار لقر القدح ، فانه قبل ان يسخن الزجاج (الرديء التوصيل للحرارة) ، يعطى قسما من حرارته للموصل الجيد - للمعدن ، فتتخفض بذلك درجة حرارة الماء ، ويتحول من حار

* ان اناء الكوارتز ملائم للاستخدام فى المختبرات ، وذلك لان له ميزة اخرى ، هي انه صلب الانصهار : لا يلين الا عند درجة ١٧٠٠° مئوية .

الى دافئ ، ولذلك يصبح عديم الضرر تقريبا . ثم يصبح الاستمرار في صب الشاي الحار ، عملية لا تشكل اى خطر على سلامة القدح ، لانه قد سخن بعض الشئ . وباختصار ، فان الملعقة المعدنية الموجودة في القدح (وخاصة اذا كانت ثقيلة) ، تقلل من عدم انتظام تسخن الاخير ، وبذلك تحول دون انكساره . ولكن ، لماذا تكون الملعقة الفضية احسن من غيرها من هذه الناحية ؟ لان الفضة موصل جيد للحرارة ، والملعقة الفضية تسلب حرارة الماء ، اسرع من الملعقة النحاسية .

ان الملعقة الفضية الموضوعة داخل قدح فيه شاي حار ، تكوى اليد ! في حين لا توجد للملعقة النحاسية تلك الامكانية . وبهذه الدلالة نستطيع تمييز مادة الملعقة بالضبط .

ان تمدد الجدران الزجاجية ، تمعدا غير منتظم ، لا يعرض سلامة اقذاح الشاي وحدها للخطر ، بل ويعرض للخطر كذلك ، الاجزاء المهمة للغلايات - مقاييس منسوب الماء ، التى تعين ارتفاع الماء في الغلاية .

ان الطبقات الداخلية لهذه المقاييس الزجاجية ، المسخنة بالماء الحار والبخار ، تتمدد اكثر من الطبقات الخارجية . ويضاف الى التمدد الناتج عن السبب المذكور ، الضغط القوى لكل من البخار والماء ، الموجودين في انبوبة . المقياس ، الامر الذى قد يودى الى انفجارها بسهولة . والحيلولة دون ذلك ، تصنع المقاييس احيانا من طبقتين من الزجاج المختلف الانواع ، بحيث يكون معامل تمدد الطبقة الداخلية ، اصغر من معامل تمدد الطبقة الخارجية .

استفودة عن العذاء في الحمام

« لماذا يكون النهار في الشتاء قصيرا ، والليل طويلا ، وفي الصيف يصبح الامر معكوسا ؟ »

يكون النهار في الشتاء قصيرا ، لانه مثل بقية المواد الاخرى ، المرئية وغير

المرئية ، يتقلص متأثراً بالبرد ، أما الليل فيسخن بتأثير القناديل والمصابيح المشتعلة ، ثم يتمدد » .

ان هذا التعليل الغريب ، الذى جاء على لسان احد جنود القوزاق المتقاعدین ، فى احدى قصص شيوخوف ، يدعو الى الضحك لسخافته الواضحة . ولكن الناس الذين يستخفون بامثال هذه الافكار « الملقنة » ، كثيراً ما يأتون انفسهم ، بنظريات قد تكون على نفس الدرجة من السخافة . من منا لم يسمع او يقرأ عن الحذاء الموجود فى الحمام ، والذى لا يدخل فى رجل صاحبه الحارة ، كما لو كان السبب فى ذلك ، « تمدد حجم القدم عند التسخين » ؟ لقد اصبح هذا المثل المشهور نموذجياً على وجه التقريب ، بينما يفسر بشكل سيئ للغاية .

وقبل كل شيء ، فان درجة حرارة جسم الانسان ، لا ترتفع تقريباً عند وجوده فى الحمام . ان ارتفاع درجة حرارة الجسم فى الحمام ، لا يزيد على درجة مئوية واحدة ، اما فى الحمام التركي فانها ترتفع بمقدار درجتين مئويتين فقط . ان جسم الانسان يقاوم كافة المؤثرات الحرارية للوسط المحيط به ، بنجاح ويحافظ على درجه حرارته الخاصة عند حد معين .

ولكن عند ارتفاع درجة حرارة الجسم بمقدار يتراوح بين ١ - ٢ ° مئوية ، تكون زيادة حجمه ضئيلة ، الى درجة لا يمكن ملاحظتها عند انتعال الحذاء .

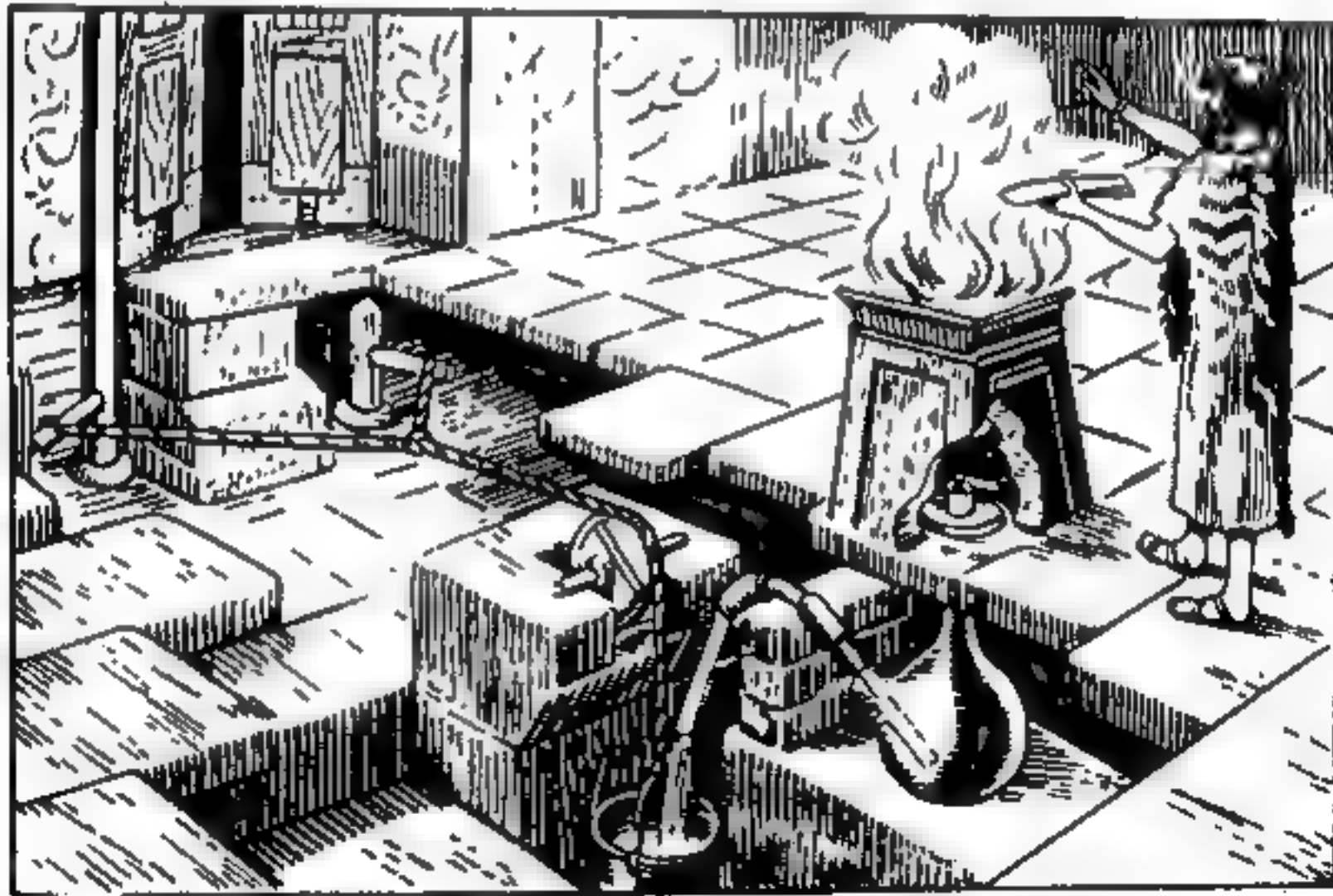
ان معامل تمدد الاجزاء الصلبة واللينة لجسم الانسان ، لا يزيد على عدة اجزاء من عشرة آلاف جزء . وبالتالي ، فان زيادة عرض بطن القدم وسمك الساق ، يمكن ان تصل الى ٠,٠١ سم لا اكثر . فهل يعقل ان يكون الحذاء ، قد صنع فى قالب تصل دقته الى ٠,٠١ سم - ثخانة الشعرة ؟

ولكن هذا ما يحدث فى الواقع بلا شك . اذ يصعب انتعال الحذاء بعد الاستحمام . وليس السبب هو التمدد الحرارى ، بل هناك عدة اسباب ، هى تدفق الدم وانتفاخ الجلد الخارجى ورطوبة سطح الجلد ، وغيرها من الاسباب ، التى ليست لها اية علاقة بالتمدد الحرارى .

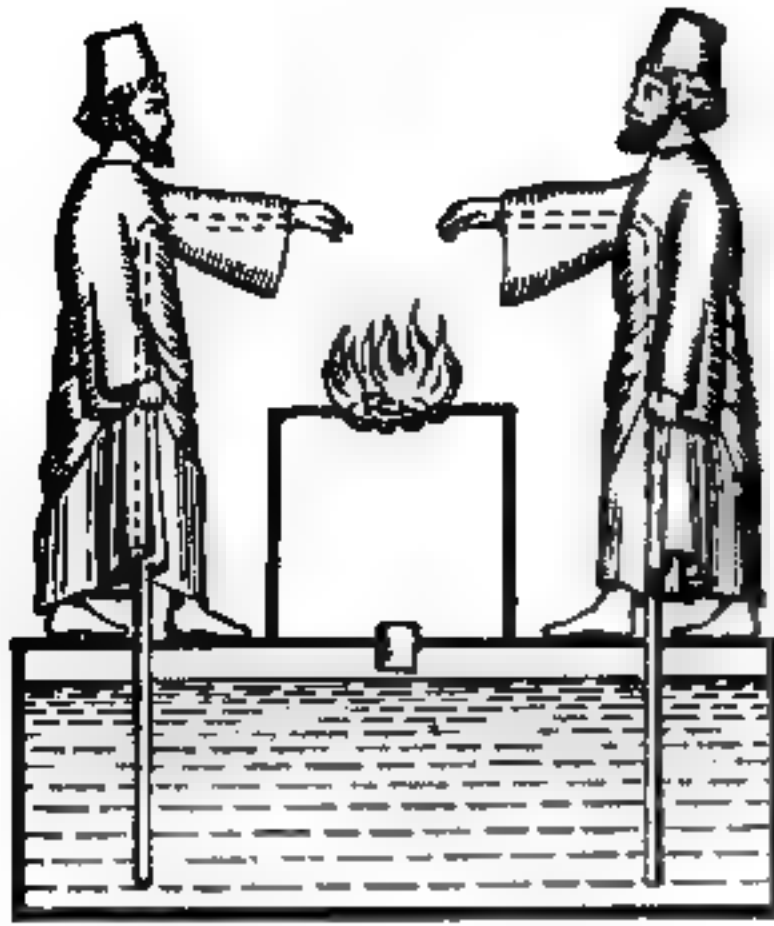
كيف صنعت المعجزات

ان العالم الميكانيكى والرياضى الاغريقى القديم هيرون الاسكندرى ، مخترع النافورة المسماة باسمه ، ترك لنا وصفا لطريقتين حاذقتين ، استطاع بواسطتهما الكهنة المصريون ، ان يخدعوا الشعب ويجعلونه يؤمن بالمعجزات . ويظهر فى الشكل ٧٤ ، محراب (مذبح) معدنى مجوف ، وقد اخفيت تحته فى باطن الارض ، آلية تحرك ابواب المعبد . وقد اقيم المحراب امام المعبد . وعندما تشعل النار ، يسخن الهواء الموجود داخل المحراب ، حيث يضغط بقوة على الماء الموجود فى اناء مخفى تحت الارض . فيندفع الماء من الاناء الى الانبوبة ، ومنها ينسكب فى السطل ، الذى يهبط ، ويدير بهبوطه ، الآلية التى تحرك الابواب (شكل ٧٥) .

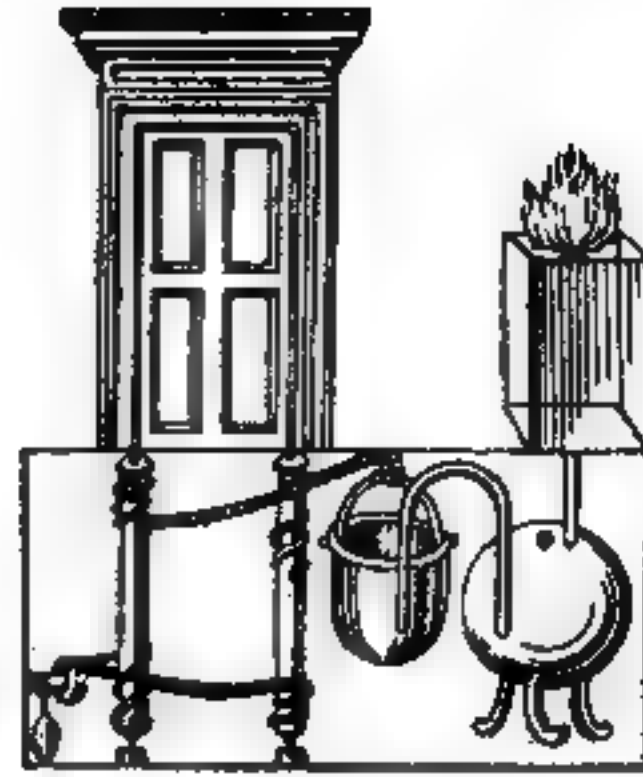
اما الجمهور المشدوه ، الذى لا يعلم اى شىء عن الآلية المخفية تحت الارض ، فيؤمن بالمعجزة التى تحدث امامه : حالما تبدأ النار بالاشتعال فوق المحراب ، فان ابواب المعبد تفتح على مصاريعها من تلقاء نفسها « بفضل دعاء الكاهن » .



شكل ٧٤ : فصح « معجزة » الكهنة المصريين القداماء : ان ابواب المعبد تفتح بتأثير نار المذبح .



شكل ٧٦ : معجزة اخرى مزعومة من معجزات الكهنة القدماء : ان الزيت ينصب ذاتيا في نار المذبح .

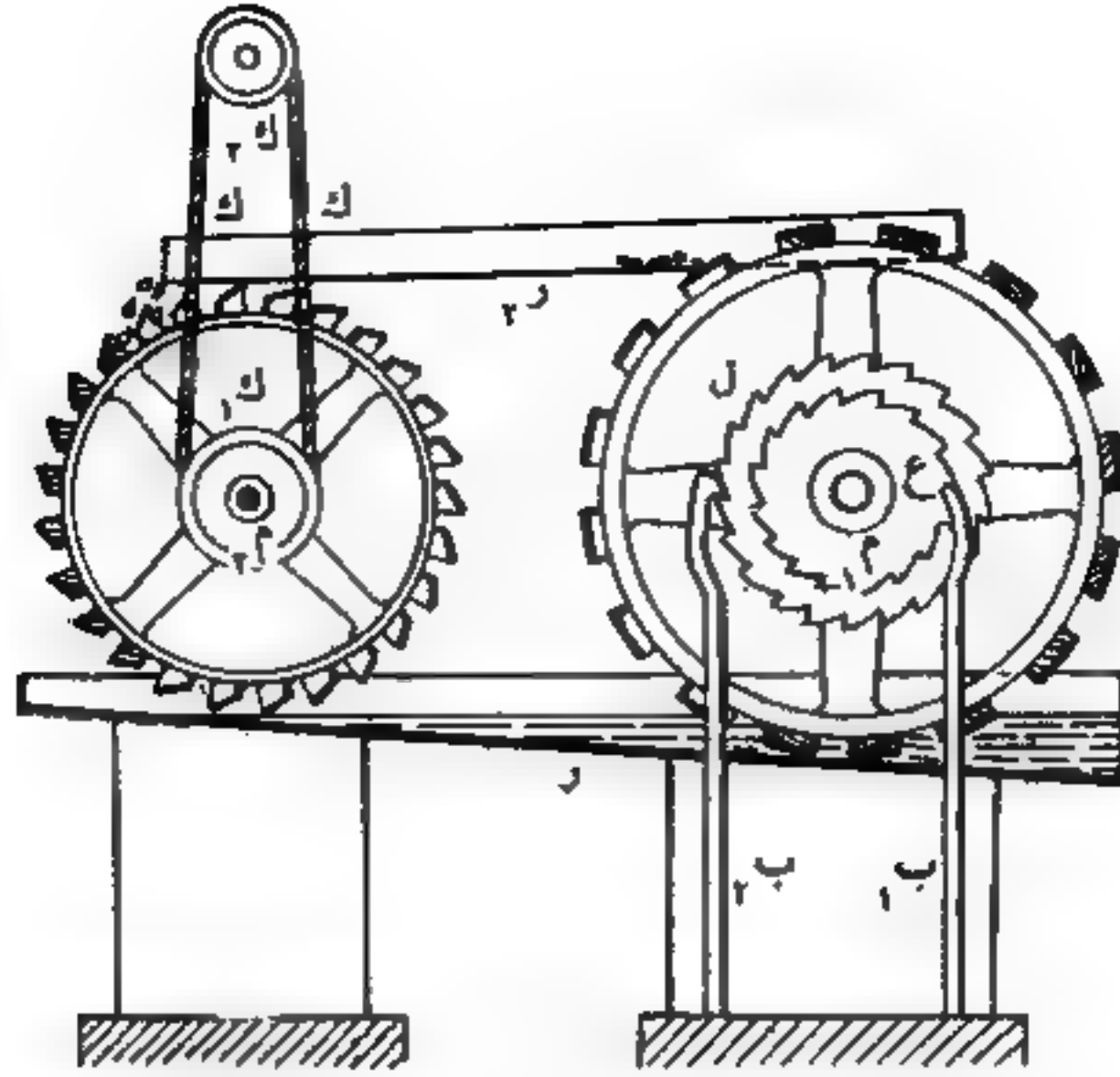


شكل ٧٥ : رسم تخطيطي يبين تركيب ابواب المعبد ، التي تفتح ذاتيا ، عندما تشعل النار فوق المذبح (انظر الشكل ٧٤) .

ويبين الشكل ٧٦ ، معجزة اخرى مزعومة ، يقوم بها الكهنة . عندما تبدأ النار بالاشتعال فوق المحراب ، يتمدد الهواء ويضغط على الزيت الموجود في الخزان السفلي ، فيدفعه الى انابيب مخفية في جبة الكاهن . عندئذ تحدث المعجزة ، وينسكب الزيت من نفسه ، في النار . . . واذا اريد ايقاف تدفق الزيت ، يقوم الكاهن المسئول عن ادارة ذلك المحراب ، برفع السدادة عن غطاء الخزان بصورة سرية (يتوقف تدفق الزيت لان الهواء الفائض يخرج من خلال الفتحة) ، وكان الكهنة يلجأون الى هذه الخدعة ، كلما شحت هدايا المصلين .

ساعة لا تحتاج الى تدوير

لقد وضعنا سابقا (صفحة ١٢٦) ساعة تعمل بلا تدوير — او بالاحرى بلا تدوير خاص — وكانت مصممة للعمل على اساس تغيرات الضغط الجوي .



شكل ٧٧ : ساعة ذاتية الملء .

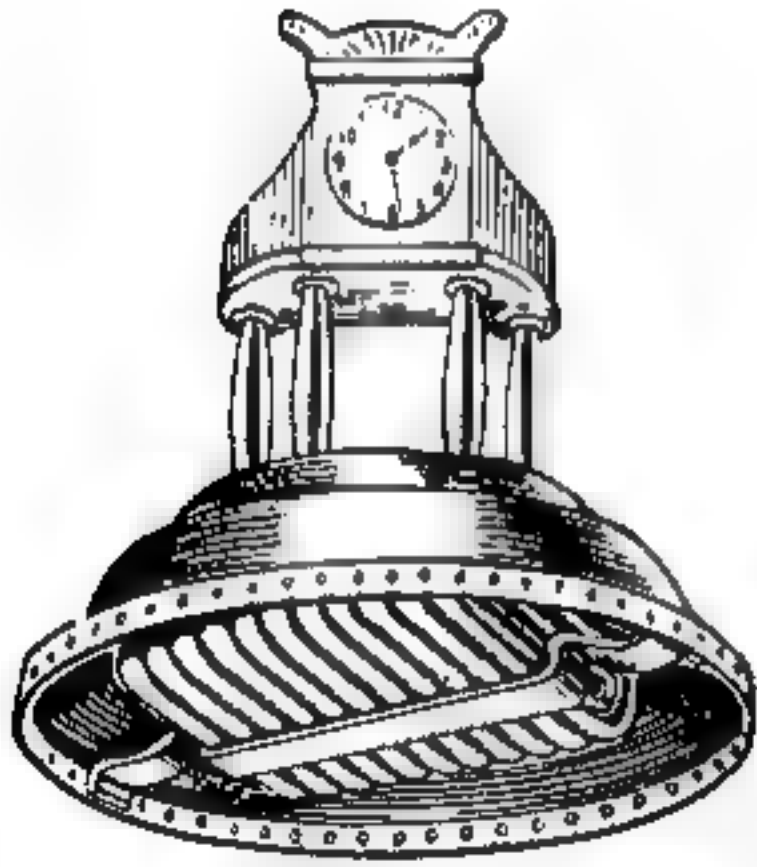
والآن نقدم وصفا لساعة مماثلة ، ذاتية الملء ، مصممة للعمل على اساس التمدد الحرارى . ان آلية هذه الساعة مبنية فى الشكل ٧٧ . ويتكون قسمها الرئيسى من القضيبين ب_١ و ب_٢ ، المصنوعين من سبيكة معدنية خاصة ، لها معامل تمدد كبير . والقضيب ب_١ مثبت فى اسنان العجلة ع ، بحيث تدور العجلة المسننة قليلا ، عندما يتمدد ذلك القضيب بتأثير الحرارة . اما القضيب ب_٢ ، فهو معشق باسنان العجلة ل . وعندما يتقلص بتأثير البرد ، يدير العجلة بنفس الاتجاه . وقد ركزت كلتا العجلتين ، على العمود م_١ ، الذى يعمل بدورانه على ادارة العجلة الكبيرة ذات المغارف . وتجرف المغارف الزيت المصبوب فى المجرى السفلى ، وتحوله الى المجرى العلوى ، ومنه ينسكب على العجلة اليسرى التى تحتوى على مغارف ايضا . وبامتلاء المغارف بالزيت ، تبدأ العجلة بالدوران ، وبذلك تتحرك السلسلة ك ك ، الملفوفة حول العجلة ك_١ (المرتكرة

على عمود مشترك م_٢ ، مع العجلة الكبيرة) ، وتقوم العجلة الاخيرة ك_٢ ببرم نابض تشغيل الساعة .

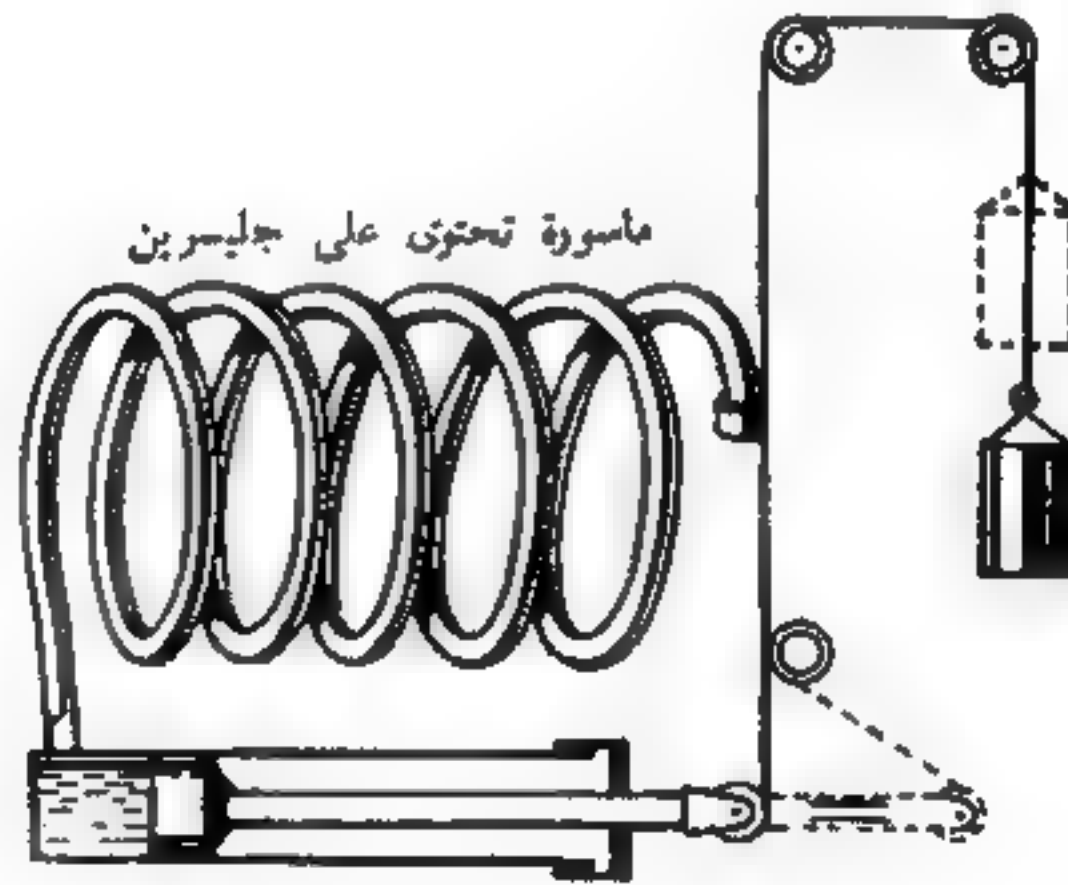
ماذا يحدث اذن للزئبق ، المنسكب من مغارف العجلة اليسرى ؟ انه يسيل خلال المجرى المائل ر_١ ، ويذهب مرة اخرى الى العجلة اليمنى ، ليبدأ من هناك حركته الانتقالية من جديد .

ان الآلية كما نرى ، يجب ان تتحرك بلا توقف ، ما زال القضيبان ب_١ وب_٢ مستمرين في تمددهما وتقلصهما . وبالتالي ، فلتشغيل الساعة ، يجب فقط ان تكون درجة حرارة الجو في حالة تغير ، اما ان ترتفع او تنخفض .

ولكن هذا الشيء بالذات ، يحدث تلقائيا دون ان نهتم بامره : ان كل تغير في درجة حرارة الهواء المحيط ، يؤدي الى تمدد او تقلص القضيبين ، ونتيجة لذلك ، يبرم نابض الساعة ببطء ، ولكن بصورة مستمرة .



شكل ٧٩ : ساعة ذاتية العمل . ان ماسورة الحليسين مخفية تحت قاعدة الساعة .



شكل ٧٨ : رسم تخطيطي لساعة ذاتية العمل من نوع آخر .

هل يمكن تسمية هذه الساعة ، بمحرك « دائم الحركة » ؟ طبعاً ، لا يمكن ذلك . ان الساعة ستشتغل لمدة طويلة غير محدودة ، الى ان تلى آليتها . ولكن مصدر طاقتها هو حرارة الهواء المحيط ، وتخزن هذه الساعة ، الشغل الناتج عن التمدد الحرارى ، على دفعات صغيرة ، لكي تصرفه باستمرار على حركة عقاربها . وهذا هو محرك « الطاقة الممنوحة » ، وذلك لانه لا يتطلب اية عناية او مصاريف لاستمراره فى العمل . ولكنه لا يولد طاقة من العدم ، اذ ان المصدر الاول لطاقته هو حرارة الشمس التى تسخن الارض .

ويوضح الشكلان ٧٨ و ٧٩ ، نموذجاً آخر للساعة الذاتية الملهمة ، مشابهاً للنموذج السابق ، من حيث التركيب . وفى هذا النموذج ، يكون القسم الرئيسى هو الجليسرين ، الذى يتمدد بارتفاع درجة حرارة الهواء ، ويرفع عند ذلك ثقلاً معيناً . وعندما يهبط الثقل ، يحرك بدوره آلية الساعة . وبما ان الجليسرين لا يتجمد الا عندما تنخفض درجة الحرارة الى - ٣٠° مئوية ، ولا يغلى الا عندما تصل درجة الحرارة الى ٢٩٠° مئوية ، اذن تكون هذه الآلية ملائمة للساعات ، التى تعلق فى الميادين العامة بالمدن وفى بقية المحلات المكشوفة . ان تغير درجة الحرارة بمقدار ٢° مئوية ، يكفى لتحريك مثل هذه الساعات .

ولقد تم اختبار نموذج منها ، خلال عام كامل ، واثبت قدرته على العمل ، مع العلم بانه لم يقترب احد من الآلية طوال ذلك العام بأكمله .

هل يكون من الملائم صنع محركات اصغى ، بناء على نفس المبدأ السابق ؟ يبدو للوهلة الاولى ، ان محرك « الطاقة الممنوحة » هذا ، وما شابهه ، يجب ان يكون اقتصادياً للغاية . ولكن الحساب يعطينا نتيجة تختلف عن ذلك تماماً . لتشغيل ساعة

عادية لمدة يوم كامل ، نحتاج الى طاقة تقدر بـ $\frac{1}{7}$ كجم تقريباً . وهذا يعنى اننا

نحتاج فى الثانية الواحدة الى $\frac{1}{60 \times 60 \times 24}$ كجم تقريباً ، وبما ان القدرة الحصانية تساوى

٧٥ كجم . م فى الثانية ، فان قدرة الآلية الواحدة للساعة ، تبلغ $\frac{1}{60 \times 60 \times 24 \times 75}$ من

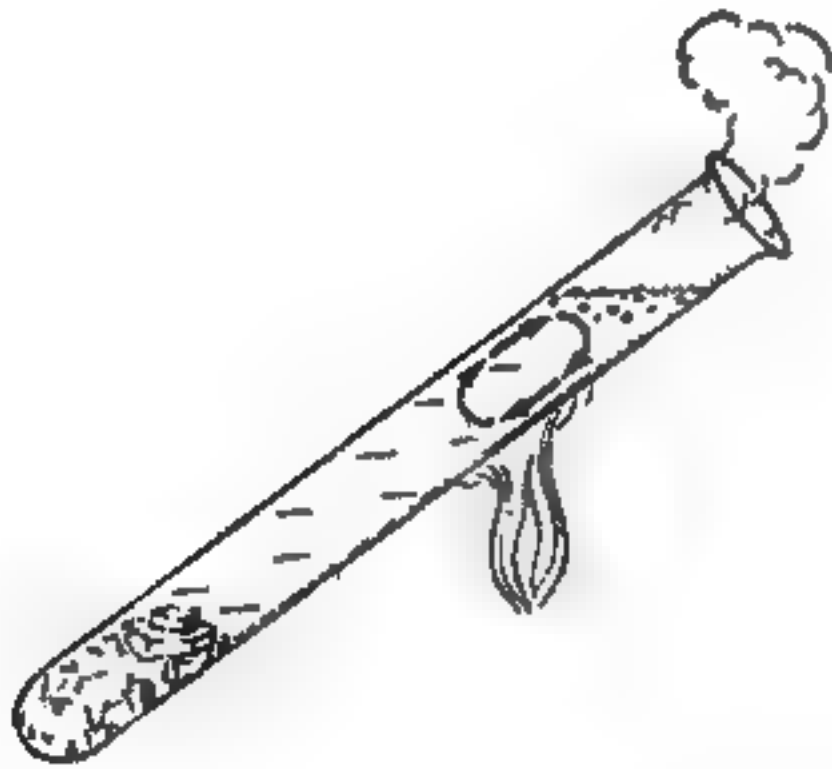
القدرة الحصانية فقط . وهذا يعنى انه اذا قدرنا قيمة القضببان الممتددة لساعة الاولى ، او اجهزة الساعة الثانية ، ولو بقرش واحد ، فان التكاليف الكلية للقدرة الحصانية الواحدة لعثل هذا المحرك ، تبلغ :

$$١ \times \frac{٤٥٠٠٠٠٠٠}{١٠٠} = ٤٥٠٠٠٠ \text{ جنيه}$$

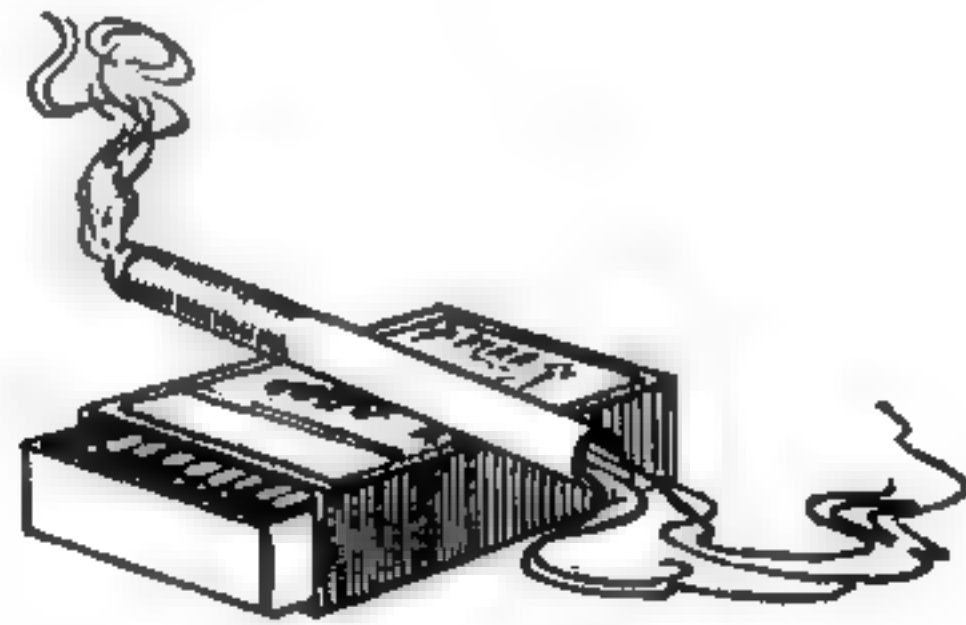
اى ما يقارب النصف مليون جنيه لكل قدرة حصانية واحدة ، وهو مبلغ كبير بالنسبة لمحرك « الطاقة الممنوحة »

السيجارة المستخدمة لغراض التعليم

وضعت سيجارة على علبة ثقاب (شكل ٨٠) ، وكانت تدخن من كلا طرفيها . ولكن الدخان الخارج من مبسم السيجارة ، يهبط الى الاسفل ، بينما يتلوى صاعدا الى الاعلى من الطرف الثانى . ما هو السبب ؟ اليس نفس الدخان بالذات هو الذى يخرج من كلا الطرفين ؟



شكل ٨١ : ان الماء الموجود فى القسم العلوى من الانبوبة يبدأ بالعليان بينما لا يذوب الجليد الموجود فى الاسفل .



شكل ٨٠ : لماذا يصعد الدخان من احد طرفى السيجارة الى الاعلى ، ويهبط الى الاسفل من الطرف الثانى ؟

نعم ، ان الدخان هو نفس الدخان ، ولكن يوجد فوق طرف السيجارة المحترق ، تيار صاعد من الهواء الدافئ ، الذى يرفع معه دقائق الدخان . اما الهواء الذى يعبر مع الدخان خلال مبسم السيجارة ، فيجد متسعا من الوقت ليبرد ، ولا يرتفع الى الاعلى . وبما ان دقائق الدخان تكون بالذات اثقل من الهواء ، لذا فانها تهبط الى الاسفل .

الجليد الذى لا يذوب فى الماء المغلى

نأخذ انبوبة اختبار ونملؤها بالماء ، ثم نغمر فيها قطعة من الجليد ، ولكى لا تطفو القطعة فوق الماء (الجليد اخف من الماء) ، نثقلها بقطعة من الرصاص او النحاس وغير ذلك . ولكن يجب عند ذلك ان يصل الماء الى قطعة الجليد بحرية . والآن نقرب انبوبة الاختبار من مصباح كحولى ، بحيث يلامس لهبه القسم العلوى لانبوبة الاختبار فقط (شكل ٨١) .

يبدأ الماء بالغليان فى الحال ، ونخرج من الانبوبة سحب من البخار . ونلاحظ هنا شيئا غريبا ، هو عدم ذوبان الجليد الموجود فى اسفل الانبوبة . اليس ذلك اعجوبة صغيرة ؟ جليد لا يذوب فى الماء المغلى !

ان حل اللغز يتلخص فى ان الماء الموجود فى اسفل الانبوبة لا يغلى مطلقا ، بل يبقى باردا ، ويغلى الماء الموجود فى اعلى الانبوبة فقط .

ان ما لدينا هنا ، هو « جليد تحت الماء المغلى » وليس « جليد فى الماء المغلى » . وعندما يتمدد الماء بتأثير الحرارة ، يصبح خفيفا ولا يهبط الى الاسفل ، بل يبقى فى اعلى الانبوبة . كما ان تيارات الماء الحار وانزياح طبقاته ، تحدث فى القسم العلوى من الانبوبة فقط ، ولا تمتد الى الطبقات السفلى ، الاكثر كثافة . ويمكن انتقال الحرارة الى الاسفل عن طريق التوصيلية الحرارية فقط ، ولكن التوصيلية الحرارية للماء قليلة للغاية .

فوق الجليد ام تحته ؟

اذا اردنا تسخين الماء ، فانا نضع اناء الماء فوق اللهب ، وليس الى جانبه . ونفعل ذلك بصورة صحيحة تماما ، لان الهواء المسخن باللهب يصبح اخف مما هو عليه ، فيتحرك من كافة الجهات متجها الى الاعلى للاحاطة باناء الماء . اذن ، بوضع الجسم المراد تسخينه فوق اللهب ، نكون قد استفدنا من حرارة المصدر على احسن وجه .

ولكن كيف نتصرف ، اذا اردنا ان نفعل العكس ، ونبرد جسم ما بواسطة الجليد ؟ اعتاد كثير من الناس على وضع الجسم فوق الجليد - مثلا ، يضعون اناء الحليب على سطح الجليد . وليس في ذلك ما يلائم الغرض . اذ ان الهواء الموجود فوق الثلج يبرد ويهبط الى الاسفل ، ليحل محله الهواء الدافئ المحيط به . وتتوصل من ذلك الى النتيجة العملية التالية : اذا اردنا تبريد الشراب او الطعام ، فعلينا ان نضعه تحت الجليد لا فوقه .

لنشرح ذلك بالتفصيل . اذا وضعنا اناء الماء على الجليد ، فستبرد الطبقة السفلى للسائل فقط ، اما بقية طبقات السائل فستحاط بالهواء الدافئ . فمثلا ، اذا وضعنا قطعة من الجليد على سطح غطاء الاناء ، فان السائل الموجود في داخله سيبرد بصورة اسرع . وسوف تهبط طبقات السائل المبردة الى الاسفل لتحل محلها طبقات السائل الدافئة القادمة من الاعلى ، الى ان يبرد كل السائل الموجود في الاناء (ان الماء النقي لا يبرد عند ذلك الى درجة الصفر المئوي ، بل الى ٤° مئوية فقط ، حيث تصل كثافته الى اقصى حد . وليس هناك في الحقيقة ، من يبرد الشراب الى درجة الصفر) . ومن ناحية اخرى ، فان الهواء المبرد المحيط بالجليد ، سيهبط ايضا الى الاسفل ليحيط بالاناء .

تيار هواء من نافذة مغلقة

كثيرا ما تهب تيارات الهواء من نافذة مغلقة باحكام ، وخالية من اية شقوق . الا يبدو ان هذا الامر غريب ؟ ولكن بهذه المناسبة ، ليس هناك ما يدعو الى الاستغراب .

ان هواء الغرفة لا يعرف السكون مطلقا ، اذ تحدث فيه تيارات خفية ، ناتجة عن سخونة وبرودة الهواء . فبتأثير الحرارة يتخلخل الهواء ، ويصبح بالتالى اخف مما هو عليه ، ويحدث العكس عندما يبرد الهواء ، اذ تزداد كثافته فيصبح اثقل مما هو عليه . ان الهواء الخفيف ، الذى تمت تدفئته بواسطة اجهزة التدفئة المركزية الموجودة فى الغرف ، او بواسطة المواقد ، يطرء الى الاعلى نحو السقف ، بواسطة الهواء البارد . اما الهواء البارد الثقيل ، الموجود قرب التوافذ والجدران الباردة ، فيندفع الى الاسفل نحو ارض الغرفة .

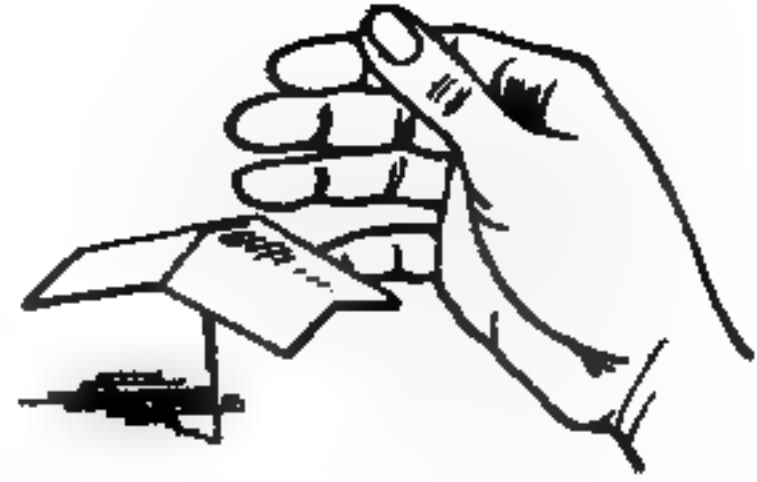
ويمكن اكتشاف تيارات الهواء فى الغرفة بسهولة ، وذلك بواسطة البالون الهوائى الذى يلهو به الاطفال ، حيث يعلق فيه ثقل بسيط ليمنعه من الالتصاق بالسقف ويجعله يحوم فى جو الغرفة بحرية . واذا طيرنا هذا البالون بالقرب من الموقد الدافئ ، سنرى انه يحوم فى جو الغرفة متأثرا بتيارات الهواء الخفية : ينطلق من ناحية الموقد تحت السقف ، الى النافذة ، ومنها يهبط الى ارض الغرفة ، ثم يعود الى الموقد لكي يستأنف تحليقه فى جو الغرفة .

ولهذا نشعر فى الشتاء بتيارات الهواء الآتية من النافذة ، وخاصة عند اقدامنا ، بالرغم من اقفال النافذة باحكام ، الامر الذى لا يدع مجالا لمرور الهواء الخارجى من الشقوق .

الدوامة الورقية الغامضة

نأخذ ورقة سبجائر رقيقة ، ونقص منها قطعة على شكل مستطيل . نطوى المستطيل مرتين من منتصفه ، ثم نعيده الى وضعه السابق ؛ فنكون بذلك قد عينا مركز ثقله . نضع المستطيل فوق ابرة حادة ، بحيث يقع رأس البرة فى مركز الثقل تماما .

وتصبح الورقة المستطيلة فى حالة توازن ، لأنها مسندة من مركز ثقلها . ولكنها تأخذ فى الدوارن ، عند تعرضها لابتسط نفخة هادئة .



لم نجد لحد الآن ، اى غموض فى
المسألة ! لنقرب يدنا من الورقة ، كما هو مبين
فى الشكل ٨٢ ، وليكن ذلك بحذر ، لئلا يؤدي
تيار الهواء الى ازاحة الورقة عن مكانها . وعندئذ
ستلاحظ امرا عجيبا : تبدأ الورقة بالدوران ،
ويكون دورانها بطيئا فى بادئ الامر ، ثم تزداد
سرعتها بالتدريج . واذا ابعدنا اليد عن الورقة ، فاننا

شكل ٨٢ : لماذا تدور الورقة ؟

نرى بان الدوران يتوقف ، اما اذا قربناها مرة اخرى ، فسوف تبدأ الورقة بالدوران
من جديد .

ان هذا الدوران الغامض ، جعل الناس فى احد الاوقات — فى سبعينيات القرن
الماضى — يفكرون بان لجسم الانسان ، بعض الخواص الخارقة للطبيعة . وقد وجد
العلماء الروحانيون فى هذه التجربة ، تأكيدا لتعاليمهم المبهمة حول القوة الخفية
الصادرة عن جسم الانسان . بينما السبب طبيعى جدا وبسيط ، وهو ان الهواء الساخن
الموجود فى اسفل اليد ، يرتفع الى الاعلى ، وعند اصطدامه بالورقة يجعلها تدور .
كالحلزون الورقى المعلق فوق المصباح ، وذلك لاننا عندما طوينا الورقة ، اصبحت
اقسامها مائلة بعض الشيء .

وقد يلاحظ المراقب الدقيق ، بان الدوامة الورقية المذكورة تدور فى اتجاه
معين — ابتداء من راس اليد وبمحاذاة الكف ، نحو الاصابع . ويفسر ذلك باختلاف
درجة حرارة اقسام اليد المذكورة ، حيث ان اطراف الاصابع تكون دائما ابرد من
الكف ، ولذلك يتكون قرب الكف تيار هوائى صاعد اكثر قوة ، يصدم الورقة بصورة
اقوى مما يصدمها تيار الهواء الناتج عن حرارة الاصابع * .

* يمكن كذلك ان نلاحظ ، انه عندما يكون الشخص محمولا او بصورة عامة عند ارتفاع درجة
حرارته ، تدور الدوامة الورقية بسرعة اكبر كثيرا . ان هذه الدوامة الورقية ، التى ادهشت الكثيرين فى
وقت ما ، كانت آنذاك موضوعا لبحث صغير قلمه ن . فيتشايف الى جمعية الطب فى موسكو ، وعنوانه
« دوران الاجسام الخفيفة بتأثير حرارة اليد » .

هل يدفئ معطف الفرو ؟

ماذا تكون اجابتكم اذا قيل لكم بان معطف الفرو لا يدفئ مطلقا ؟ لعلكم ستفكرون بان محدثكم يمزح معكم . ولكن ماذا لو بدأ محدثكم باثبات كلامه بعدد من التجارب ؟ لنبدأ مثلا ، بالتجربة التالية :

نأخذ محاررا ونسجل درجة الحرارة التي يعطيها ، ثم ندثره بمعطف الفرو ، ونعود اليه بعد عدة ساعات . وعندما نقرأ درجة الحرارة بعد ذلك ، سنكون على يقين من عدم ارتفاعها ولو بمقدار ربع درجة ، اذ ستبقى درجة الحرارة على ما كانت عليه سابقا دون تغيير . وهذا دليل على ان معطف الفرو لا يدفئ . وكان الشك سيساوركم ، لو قيل لكم بان معطف الفرو يبرد ! تأخذ كيسين فيهما جليد ، وندثر احدهما بمعطف فرو ، ونترك الآخر مفتوحا في الغرفة . وعندما يذوب الجليد الموجود في الكيس الثاني ، نرفع معطف الفرو عن الكيس الاول ، فنرى ان الجليد الذي في داخله لم يبدأ بالذوبان بعد . وهذا يعنى ان معطف الفرو لم يدفئ الجليد قط ، بل حتى كما يظهر ، عمل على تبريده فجعله يتأخر في الذوبان . ماذا يمكننا القول هنا ؟ وكيف ندحض هذه البراهين ؟

اننا لا نستطيع ان نفعل ذلك ، لان معطف الفرو لا يدفئ في الواقع ، اذا قصدنا بكلمة « يدفئ » - يعطي حرارة .

ان المصباح والموقد وجسم الانسان ، كلها تدفئ ، لانها تعتبر مصادر للحرارة . ولكن معطف الفرو ، بالمعنى المذكور للكلمة ، لا يدفئ مطلقا . فمعطف الفرو لا يعطي حرارته للجسم ، ولكنه يحول دون تسرب حرارة الجسم الى الخارج . ولهذا السبب ، فان الحيوانات ذات الدم الحار ، التي تكون اجسامها بالذات مصدرا للحرارة ، تشعر بالدفء عندما تغطي بالفرو ، اكثر مما تشعر به ، عندما تكون بدون فرو . ولكن المحرار لا يولد حرارة ذاتية ، ولا تتغير درجة حرارته ، عندما ندثره بمعطف الفرو . اما الجليد المدثر بمعطف الفرو ، فيحافظ على درجة حرارته المنخفضة لمدة

اطول ، وذلك لان معطف القرو - موصل رديء جدا للحرارة - يعرقل وصول الحرارة الى الجليد من الخارج ، اى من هواء الغرفة .

والثلج يشبه معطف القرو من هذه الناحية ، فهو يدفع الارض ، لانه كبقية المساحيق الاخرى ، موصل رديء للحرارة ، وبذلك يعرقل تسرب الحرارة من الارض المغطاة به . وفي الارض المغطاة بطبقة واقية من الثلج ، يشير المحرار فى كثير من الاحيان ، الى درجة حرارة ، تزيد بعشر درجات على درجة حرارة الارض غير المغطاة بالثلج .

وهكذا ، فاذا سئلنا هل يدفع معطف القرو اجسامنا ام لا ، فمن الضرورى الاجابة على ذلك بقولنا : ان معطف القرو يساعدنا فقط على تدفئة اجسامنا بانفسنا . وكان من الاصح ان نقول بان اجسامنا هى التى تدفئ معطف القرو ، وليس المعطف هو الذى يدفع اجسامنا .

فصول السنة فى باطن الارض

اذا كان الفصل على سطح الارض الآن هو الصيف ، فإى فصل يكون الآن تحت سطح الارض ، مثلا على عمق ثلاثة امتار ؟ يخطئ القارئ اذا فكر بان الفصل هناك هو الصيف ايضا ! ان فصول السنة على سطح الارض ، تختلف عما هى عليه فى تربة باطن الارض . ان التربة موصل رديء جدا للحرارة . وفى مدينة لينينغراد ، لا يتجمد الماء فى مواسير المياه الرئيسية ، الواقعة على عمق مترين ، حتى فى اقصى ايام الشتاء بردا .

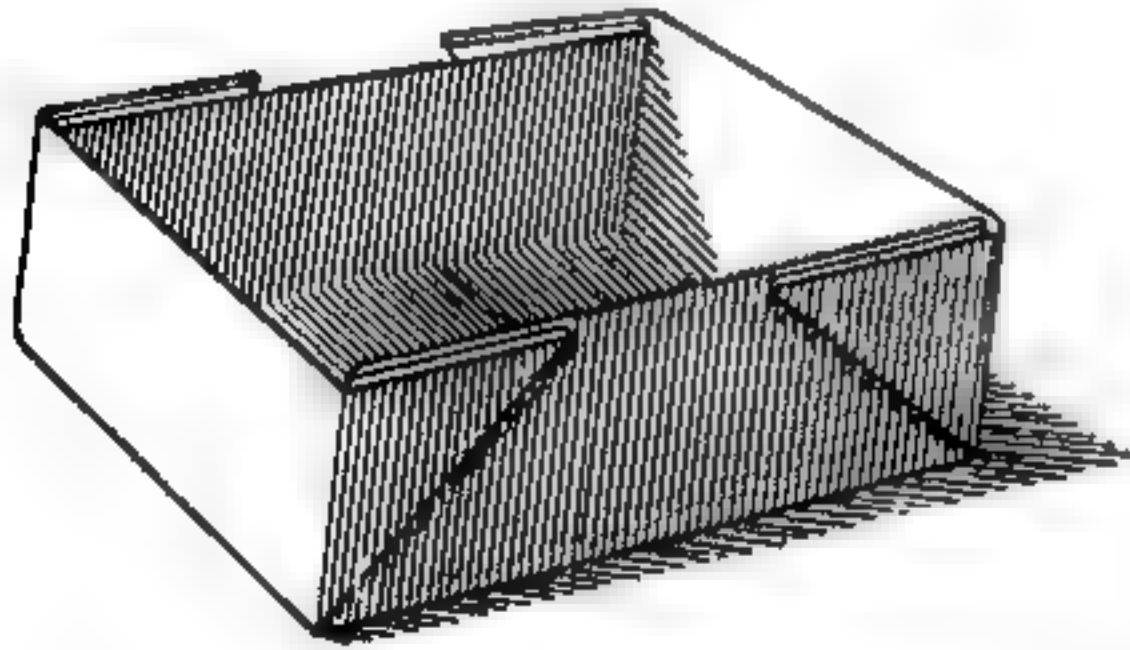
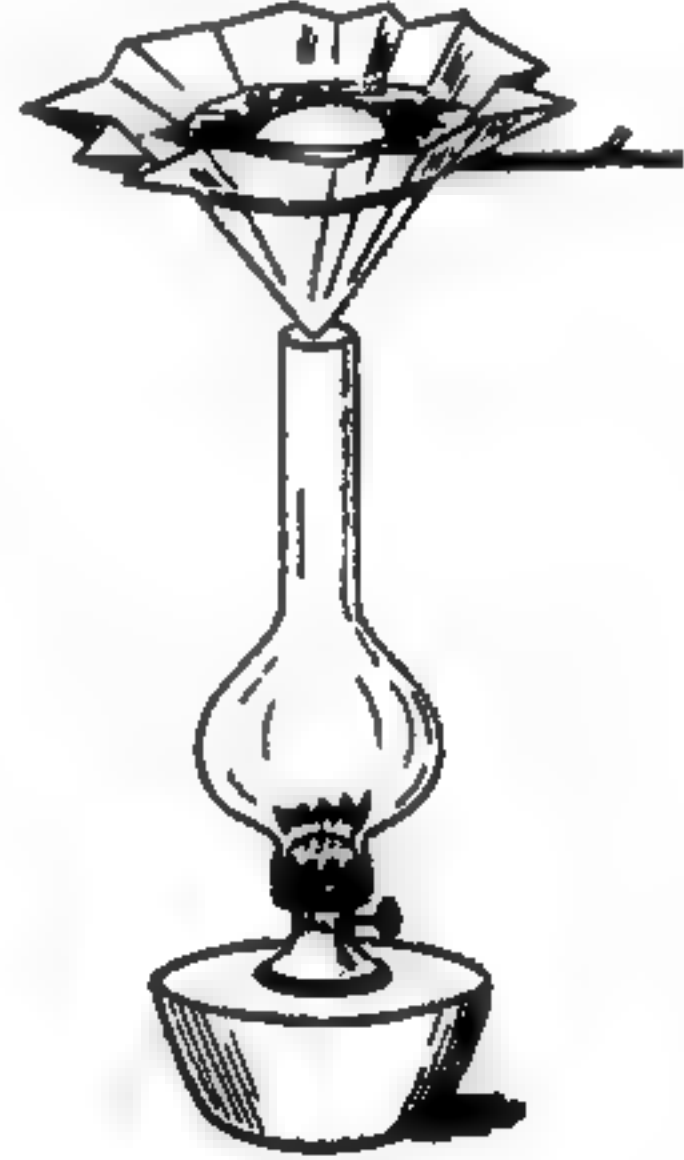
ان تغيرات درجة الحرارة ، التى تحدث على سطح الارض ، تنتقل الى باطنها بصورة بطيئة جدا ، وتصل الى مختلف طبقاتها فى وقت متأخر كثيرا . وقد اثبتت القياسات المباشرة ، مثلا فى مدينة سلوتسك (من ضواحي لينينغراد) ، ان

احر فترة تحلّ خلال السنة ، على عمق ثلاثة امتار ، تتأخر لمدة ٧٦ يوما ، وابد
فترة تتأخر لمدة ١٠٨ ايام . وهذا يعنى ، انه اذا فرضنا ان احر يوم على سطح الارض ،
هو يوم ٢٥ سبتمبر (ايلول) ، فانه يحلّ على عمق ثلاثة امتار ، بتاريخ ٩ اكتوبر
(تشرين الاول) فقط ! واذا فرضنا ان ابرد يوم على سطح الارض ، هو يوم ١٥
يناير (كانون الثانى) ، فانه يحلّ على ذلك العمق المذكور ، فى شهر مايو (ايار) !
وبالنسبة لطبقات الارض التى يزيد عمقها على ما ذكرناه ، يكون التأخير اكثر بكثير .
وكلما تعمقنا فى التربة ، فان التغيرات فى درجة الحرارة ، لا تتأخر فحسب ،
بل تضعف كذلك ، وعلى عمق معين تتلاشى تماما : على مدار السنة ، وخلال قرن
كامل ، تبقى درجة الحرارة هناك ثابتة على الدوام ، وخصوصا يثبت المتوسط السنوى
لدرجة حرارة ذلك المكان .

وفى اقبية مرصد باريس ، على عمق ٢٨ م ، يوجد محرار ، كان قد حفظ
هناك منذ ١٥٠ عاما ، من قبل العالم الفرنسى لافوازيه ، وقد حافظ المحرار خلال
تلك المدة باكملها ، على درجة حرارة ثابتة هى $+ ١١,٧^{\circ}$ مئوية .
وهكذا ، ففى داخل الارض التى نطأها باقدامنا ، تختلف فصول السنة اختلافا
تاما ، عما هى عليه فوق سطح الارض . وعندما يحل الشتاء فوق الارض ، يكون الفصل
على عمق ٣ م ، خريفا . وفى الحقيقة ، لا يكون هذا الخريف كما عرفناه سابقا
على سطح الارض ، بل يكون اكثر اعتدالا فى انخفاض درجة الحرارة . وعندما يحل
الصيف فوق سطح الارض ، تصل الى باطنها اصداء ضعيفة لبرد الشتاء . ومن الضرورى
ان نأخذ هذا الامر بنظر الاعتبار ، كلما تطرقنا فى حديثنا الى ظروف حياة الحيوانات
التي تعيش فى باطن الارض (مثل يرقات الخنافس والصراصير) ، وجذور النباتات .
وليس من العجب ، مثلا ، ان خلايا جذور الاشجار ، تتكاثر بصورة خاصة فى
الشتاء ، وان وظائف (فعاليات) النسيج المسمى بالكمبيوم ، تتجمد خلال فصل
الصيف باكملة تقريبا ، على العكس من النسيج الموجود فى جذع الشجرة فوق الارض .

قدر من الورق

يبين الشكل ٨٣ ، بيضة تسلق في ماء موضوع في قدر من الورق ! الا يعتقد القارئ بان الورقة ستحترق الآن ، وينسكب الماء على المصباح ؟ هيا الآن لنجرب ذلك بانفسنا . نأخذ قطعة سميكة من ورق بارشمان * ونثبتها جيداً بسلك ، ثم نصب فيها الماء ونضع البيضة في داخلها . وعند تعريض الورقة لشعلة المصباح ، نرى انها لا تتأثر بذلك مطلقاً . ان السبب هو ان الماء يمكن ان يسخن في اناء مكشوف ، الى درجة حرارة لا تزيد على ١٠٠° مئوية ، لذا ، فان الماء المسخن ، الذي له بالاضافة الى ذلك ، سعة حرارية كبيرة ، يمتص الحرارة الفائضة للورقة ، ولا يجعلها تسخن الى درجة حرارة ، تزيد عن ١٠٠° مئوية ، اى الى درجة الحرارة اللازمة لاحتراقها والتهابها . (من الافضل عملياً استخدام صندوق ورقي صغير ، مثل الصندوق المبين في الشكل ٨٤) . ان الورقة سوف لا تحترق ، حتى عندما تحاط باللهب .



شكل ٨٣ : سلق البيضة في قدر من الورق .

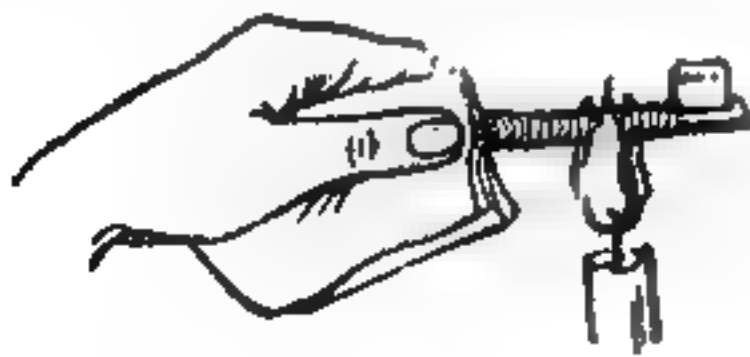
شكل ٨٤ : صندوق صغير من الورق لغلي الماء .

* وهو ورق معالج بحامض الكبريتيك ، ويستعمل لتخليف المأكولات .

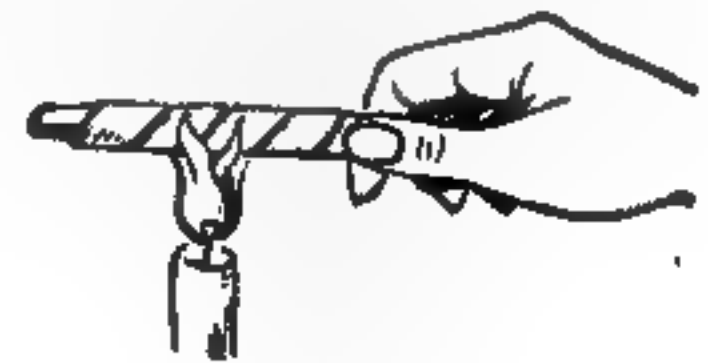
وتنتمى إلى نفس النوع من الظواهر ، تلك التجربة المؤسفة التى يمر بها بعض الناس الذين تشرد افكارهم ، فيوقدون النار فى السماوار صدفة . عندما يكون حالها من الماء ، فينفك بذلك لحامه وينهار . والسبب هنا معروف ، وهو ان سبيكة اللحام سهلة الانصهار ، والتصاقها المحكم بالماء ، هو الامر الوحيد الذى يقيها من خطر ارتفاع درجة الحرارة . ويمنع كذلك تسخين القلور الملحومة ، اذا كانت خالية من الماء . وقد عمل تسخن الماء على حماية سبطانة رشاش « مكسيم » القديم ، من الانصهار .

ويمكننا كذلك ان نصهر ختما رصاصيا ، فى صندوق مصروع من ورق اللعب ، وذلك بتسليط اللهب بصورة خاصة على موضع الورقة ، الذى يتصل مباشرة بالختم لرصاصي : ان الرصاص بصفته موصلا جيدا للحرارة نوعا ما ، يأخذ الحرارة من الورقة بسرعة ، ولا يجعلها تسخن الى درجة حرارة تزيد عن درجة حرارة الانصهار بشكل ملحوظ ، اى الى درجة ٣٣٥° مئوية (للرصاص) ؛ وهذه الدرجة من الحرارة ليست كافية لكى تجعل الورقة تلتهب .

ويمكن كذلك اجراء التجربة التالية (شكل ٨٥) : نأخذ مسما علفا ، او قضيب رقيقا من الحديد (والافضل ان يكون من النحاس) ، ونلف حوله باحكام ، شريطا رقيقا من الورق على شكل لولب . ثم نقرب القضيب مع شريط الورق ، من لهب النار . سيحيط اللهب بالورقة ويسخنها ، ولكنها لن تحترق الى ان يصبح القضيب حاميا . ان السر هنا ، يكمن فى موصلية المعدن الجيدة ، اذ لا يمكننا



شكل ٨٦ : الخيط الذى لا يشتعل .



شكل ٨٥ : الورقة التى لا تشتعل

اجراء هذه التجربة بقضيب من الزجاج . ويبين الشكل ٨٦ ، تجربة مماثلة ، لخيوط لا يحترق وهو ملفوف باحكام على احد المفاتيح .

لماذا يكون الجليد زلقا ؟

ان الانزلاق على ارضية الغرفة المصقولة ، اسهل من الانزلاق على الارضية العادية . ويظهر وكأن نفس الشيء يحدث بالنسبة للجليد ، اى يكون الانزلاق على الجليد الاملس ، اسهل مما هو عليه بالنسبة للجليد الوعر المغطى بالتلويحات . ويعلم سكان المناطق الشمالية ان جزر الزلاقات الصغيرة المحملة بالامتعة ، فوق سطح الجليد الوعر ، اسهل بكثير من جرها فوق سطح الجليد الاملس . ان الجليد الوعر اكثر زلقا من الجليد الاملس اللامع . وهذا يفسر بان زلق الجليد لا يعتمد بالدرجة الاولى على النعومة ، ولكن على شىء خاص جدا ، هو ان درجة حرارة انصهار الجليد ، تنخفض عند زيادة الضغط .

ماذا يحدث عندما نترج على الجليد بالزلاقة او بالمزجج ؟ عند وقفنا على الجليد بالمزجج ، تكون مساحة ارتكازنا صغيرة جدا ، لا تزيد على عدة مليمترات مربعة . ونضغط على هذه المساحة الصغيرة بثقل جسمنا كله . واذا تذكرنا ما قلناه عن الضغط (فى الفصل الثانى من الكتاب) ، لعلمنا ان الشخص المتزجج يضغط على الجليد بقوة كبيرة . وتحت تأثير الضغط الكبير ، ينوب الجليد عند درجة حرارة منخفضة . مثلا ، اذا كانت درجة حرارة الجليد -٥° مئوية ، وعمل ضغط المزجج على خفض نقطة انصهار الجليد الذى يرتكز عليه المزجج ، باكثر من ٥° مئوية ، فان اقسام الجليد هذه سوف تذوب . فماذا يحدث اذن ؟ تتكون بين مزلق المزجج والجليد طبقة رقيقة من الماء ، تجعل المتزجج يتزلق بسهولة . وحالما ينقل قدميه الى موضع آخر ، يحدث هناك نفس الشىء ايضا . وفى كل المواضع ، يتحول الجليد تحت اقدام المتزجج ، الى طبقة رقيقة من الماء . وبهذه الخواص ، يتميز الجليد عن كافة الاجسام

الآخري في الطبيعة . وقد اطلق احد الفيزيائيين السوفيت على الجليد اسم « الجسم الزلق الوحيد في الطبيعة » . اما بقية الاجسام ، فهي ملساء وليست زلقة .

ويمكننا الآن ان نعود الى سؤالنا : ايهما اكثر زلقا ، الجليد الاملس ام الجليد الوعر ؟ نحن نعلم ان الثقل الواحد ، يضغط بقوة اكبر ، كلما قلت المساحة التي يرتكز عليها . ففي اية حالة اذن ، يضغط الشخص بقوة اكبر ، على المساحة التي يقف عليها : هل عند وقوفه على الجليد الاملس اللماع ام على الجليد الوعر ؟ من الواضح ان الشخص يضغط بقوة اكبر عند وقوفه على الجليد الوعر ، لانه في هذه الحالة يكون مرتكزا على بعض نتؤات وتحدبات سطح الجليد الوعر . وكلما زاد الضغط على الجليد ، زاد معه الانصهار ، وبالتالي يصبح الجليد اكثر زلقا (اذا كانت المزلقة عريضة الى حد كاف . اما بالنسبة للمزلقة الضيقة ، المنغرزة في النتؤات ، فلا ينطبق عليها ذلك — لان طاقة الحركة ، تصرف هنا في عملية قصر النتؤات) .

ان انخفاض نقطة انصهار الجليد ، تحت تأثير الضغط الكبير ، يفسر كذلك عدة ظواهر أخرى في الحياة اليومية . وبفضل هذه الخاصية ، تتجمد قطع الجليد المنفصلة ، مع بعضها البعض ، اذا ضغطت بقوة . ان الصبي الصغير عندما يلهو بقذف كرات الثلج ، فانه بدون وعي ، يستخدم هذه الخاصية حينما يضغط بيديه ندف الثلج ، التي تتجمد بتأثير الضغط القوي ، المؤدى الى انخفاض درجة حرارة انصهارها . ان الاطفال في المناطق الشمالية من الكرة الارضية ، عندما يكومون كتل الثلج ليصنعوا منها دمية على هيئة امرأة ، فانهم بذلك يستخدمون ايضا تلك الخاصية المذكورة للجليد : ان ندف الثلج ، في اماكن تلاصقها ، في القسم السفلى للكتلة الثلجية ، تتجمد تحت وطأة الكتل التي تضغط عليها من الاعلى . ان الثلج على الارصفة يتكثف ويتحول تدريجيا الى جليد ، وذلك تحت ضغط اقدام العابرين ، اذ تتجمد كتل الثلج وتحول الى طبقة جليدية صلبة .

وقد اثبت الحساب النظري ، انه لكي نخفض نقطة انصهار ذوبان الجليد بمقدار درجة واحدة فقط ، فانا نحتاج الى ضغط كبير جدا ، يقدر بـ ١٣٠٠ كجم/سم^٢ .

وهنا يجب الأخذ في الاعتبار ، ان كلاً من الماء والجليد ، يقعان عند الانصهار تحت ضغط واحد . وفي الامثلة المذكورة هنا ، يتعرض الجليد وحده لضغط قوى . اما الماء الناتج عن الانصهار ، فيقع تحت تأثير الضغط الجوي ، وفي هذه الحالة ، يصبح تأثير الضغط على درجة حرارة انصهار الجليد ، اكبر بكثير .

مسألة حول الجبال الجليدية

يعرف سكان المناطق الشمالية الباردة ، كيف تتكون على حافات سطوح المنازل واغصان الاشجار ، جبال جليدية متدلية الى الاسفل - هوابط جليدية صغيرة . في اى فصل من السنة تتكون الجبال الجليدية ، هل في فصل ذوبان الثلوج ام في فصل الشتاء ؟ اذا كان ذلك في فصل ذوبان الثلوج ، فكيف يتجمد الماء في درجة حرارة تزيد عن الصفر ؟ واذا كان ذلك في الشتاء ، فمن اين يظهر الماء فوق السطح ؟ يتضح من ذلك ، ان المسألة ليست بسيطة كما يبدو لاول وهلة . ان الجبال الجليدية عند تكونها ، تحتاج الى درجتى حرارة مختلفتين في وقت واحد : لاجل الذوبان - درجة حرارة فوق الصفر ، ولاجل الانجماد - درجة حرارة تحت الصفر

وهذا ما يحدث في الواقع ، اذ ينوب الثلج الموجود على منحدر السطح ، لان اشعة الشمس تسخنه الى درجة حرارة اعلى من الصفر ، اما قطرات الماء الجارية عند حافة السطح ، فتتجمد لان درجة الحرارة هنا تقل عن الصفر . (وبالطبع فاننا لا نقصد هنا حالة تكون الجبال الجليدية ، بسبب الحرارة الناجمة عن الغرفة الدافئة تحت السطح) .

لنتصور احد ايام الشتاء الصحو ، الذى تتراوح فيه درجة الحرارة بين ١ - ٢° مئوية . والشمس تبعث باشعتها الى الارض ، الا ان هذه الاشعة المائلة لا تسخن الارض الى درجة تجعل الثلج ينوب . اما على منحدر السطح المواجه للشمس ، فان الاشعة لا تسقط هناك بصورة مائلة ، كما تسقط على الارض ، ولكنها تسقط بزاوية

قريبة من الزاوية القائمة . ومن المعروف ان مقدار الاضاءة والتسخين بالاشعة ، يزداد بزيادة الزاوية التي تشكلها الاشعة مع السطح الذي تسقط عليه . (يتناسب تأثير الاشعة تناسباً طردياً مع جيب هذه الزاوية ، وبالنسبة للحالة المبينة في الشكل ٨٧ ، تصل الى الثلج الموجود على السطح ، كمية من الحرارة تزيد بمرتين ونصف ، على كمية الحرارة التي تصل الى مساحة مساوية من الثلج ، على السطح الافقى لان جيب الزاوية 60° اكبر من جيب الزاوية 30° ، بمرتين ونصف) .

ولهذا السبب بالذات يكون السطح المائل اشد سخونة ، ويمكن ذوبان الثلج الموجود فوقه . ويسيل الماء الناتج عن ذوبان الجليد ، متدلياً على هيئة قطرات ، من حافة السطح . ولكن درجة الحرارة تحت السطح ، تقل عن الصفر ، وبذلك فان القطرة ، التي تبرد ايضاً بالتبخير ، تتجمد في الحال . وتنزل قطرة ثانية فوق القطرة المتجمدة ، فتتجمد هي الاخرى ، وتليها قطرة ثالثة فتتجمد ايضاً . . وهكذا الى ان يتكون تدريجياً جبل جليدي رفيع يتدلى الى الاسفل . وعند تكرار حالة الجو هذه مرات عديدة ، تصبح



شكل ٨٧ : ان اشعة الشمس تسخن السقف المائل ، اشد مما تسخن سطح الارض الافقى .

تلك الجبال الجليدية اطول مما كانت عليه ، وتتكون اخيرا جبال جليدية نامية ، تشبه الهوابط (الاعمدة الكلسية) المدلاة من سقوف الكهوف فى باطن الارض . وبهذا الشكل تنشأ الجبال الجليدية على سطوح العنابر (السقائف) ، وبصورة عامة على سطوح المباني الخالية من التدفئة .

ان سقوط اشعة الشمس بزوايا مختلفة ، يؤدى ايضا الى حدوث ظواهر حيوية كبيرة . فاختلاف المناطق المناخية واختلاف فصول السنة ، يعود بدرجة كبيرة * الى تغير زاوية سقوط اشعة الشمس . ان الشمس تبعد عنا شتاء ، بنفس المسافة التى تبعد بها عنا صيفا ، فهى تقع على بعد واحد من كل من القطبين وخط الاستواء (ان الفرق فى المسافة ضئيل جدا ، بحيث يمكن اهماله تماما) . ولكن ميل اشعة الشمس مع سطح الارض عند خط الاستواء ، اكثر من ميلها عند القطبين ، وفى الصيف تكون هذه الزاوية اكبر مما هى عليه فى الشتاء . وهذا يؤدى الى اختلافات واضحة فى درجة الحرارة نهارا ، وبالتالي الى اختلافات فى الطبيعة برمتها .

* ولكن ليس كليا ، لان هناك سببا مهما آخر ، يتلخص فى اختلاف طول النهار ، اى طول تلك الفترة الزمنية ، التى تسخن خلالها الشمس الارض . وبالمناسبة ، فان كلا السببين ، يرجعان الى حقيقة فلكية ، هى ميل محور الارض بالنسبة لمستوى دوران الارض حول الشمس .

الحاق بالظلال

اذا لم يكن اجدادنا يتمكنون من الحاق بظلالهم ، فقد استطاعوا الاستفادة منها . اذ رسموا بمساعدة الظلال ما يسمى بـ « الخيال » - الصورة الظلية لجسم الانسان . وفي الوقت الحاضر ، بإمكان كل منا ان يصور نفسه او الناس المقربين اليه ، بواسطة آلات التصوير الفوتوغرافي . ولكن الناس في القرن الثامن عشر ، لم يكونوا سعداء

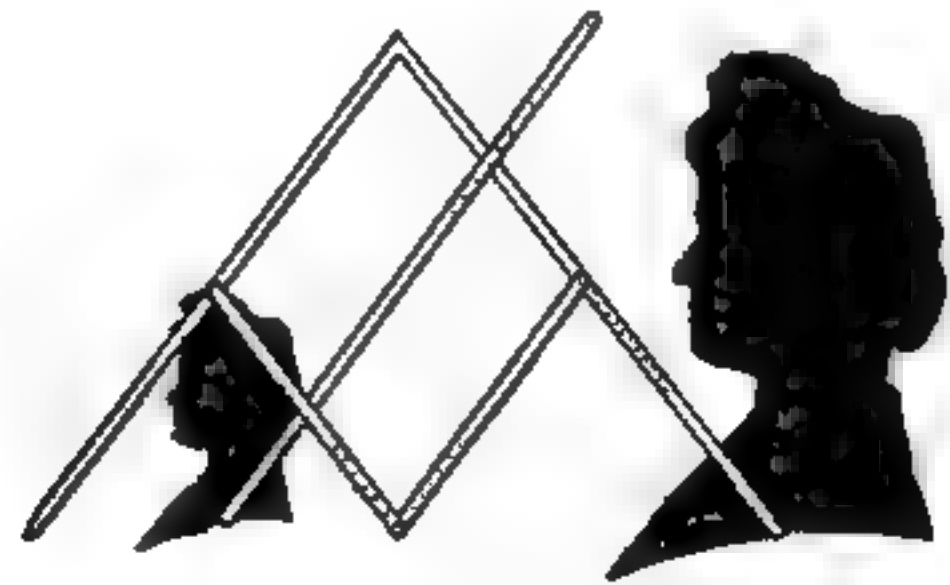


شكل ٨٨ : طريقة قديمة لرسم صور الخيال .

مثلاً ، اذ كان الرسامون يتقاضون مبالغ طائلة لقاء القيام برسم صورة الشخص الراغب في ذلك ، وكان هذا الامر في متناول عدد قليل من الناس فقط . ولهذا السبب ، كانت الصور الظلية منتشرة في ذلك الوقت الى درجة معينة ، الى ان حل محلها التصوير الفوتوغرافي الحديث . ان الخيال ، هو عبارة عن ظل محصور ومثبت . ويرسم الخيال بصورة ميكانيكية ، وهو يعبر من هذه الناحية ، عن الصورة المضيفة المقابلة له . ونحن نستخدم الضوء هنا . اما اجدادنا ، فقد استخدموا الظل لهذا الغرض بالذات . ويبين الشكل ٨٨ ، كيف كانوا يرسمون الخيال . كان على الشخص الذي يريد الحصول على صورته الظلية ، ان يدبر رأسه ، بحيث يعطى الظل منظراً جانبياً مميزاً لذلك الشخص ، فيقوم شخص آخر بتخطيط محيط الظل بالقلم . وبعد ذلك تلون المساحة المحصورة داخل المحيط بالحبر الصيني الاسود ، وتقصر ثم تلصق على ورقة بيضاء ، وهكذا يصبح الخيال جاهزاً . وكانوا يصغرون الخيال حسب رغبتهم ، بواسطة جهاز خاص يسمى بالبانتوغراف او المتساخ (شكل ٨٩) . وقد يفكر القارئ بان هذا الرسم المحيطي البسيط ، لا يمكن ان يعطى فكرة عن الملامح المميزة للاصل . ان الامر على العكس من ذلك ، لان الخيال الناجع ، يتميز احياناً بتشابهه المدهش مع الاصل .



شكل ٩٠ : صورة خيال الشاعر الالماني شيلر (١٧٩٠) .



شكل ٨٩ : تصغير صورة الخيال .

وهذه الخاصية المميزة للصور الظلية - التشابه مع الاصل عند بساطة الرسم المحيطي - جلبت انتباه بعض الرسامين ، الذين اصبحتوا يرسمون على هذه الشاكلة ، مشاهد مسرحية ومناظر طبيعية كاملة . . وغير ذلك . وبفضل رسم الصور الظلية ، نشأت بالتدريج مدرسة مستقلة لاولئك الرسامين .

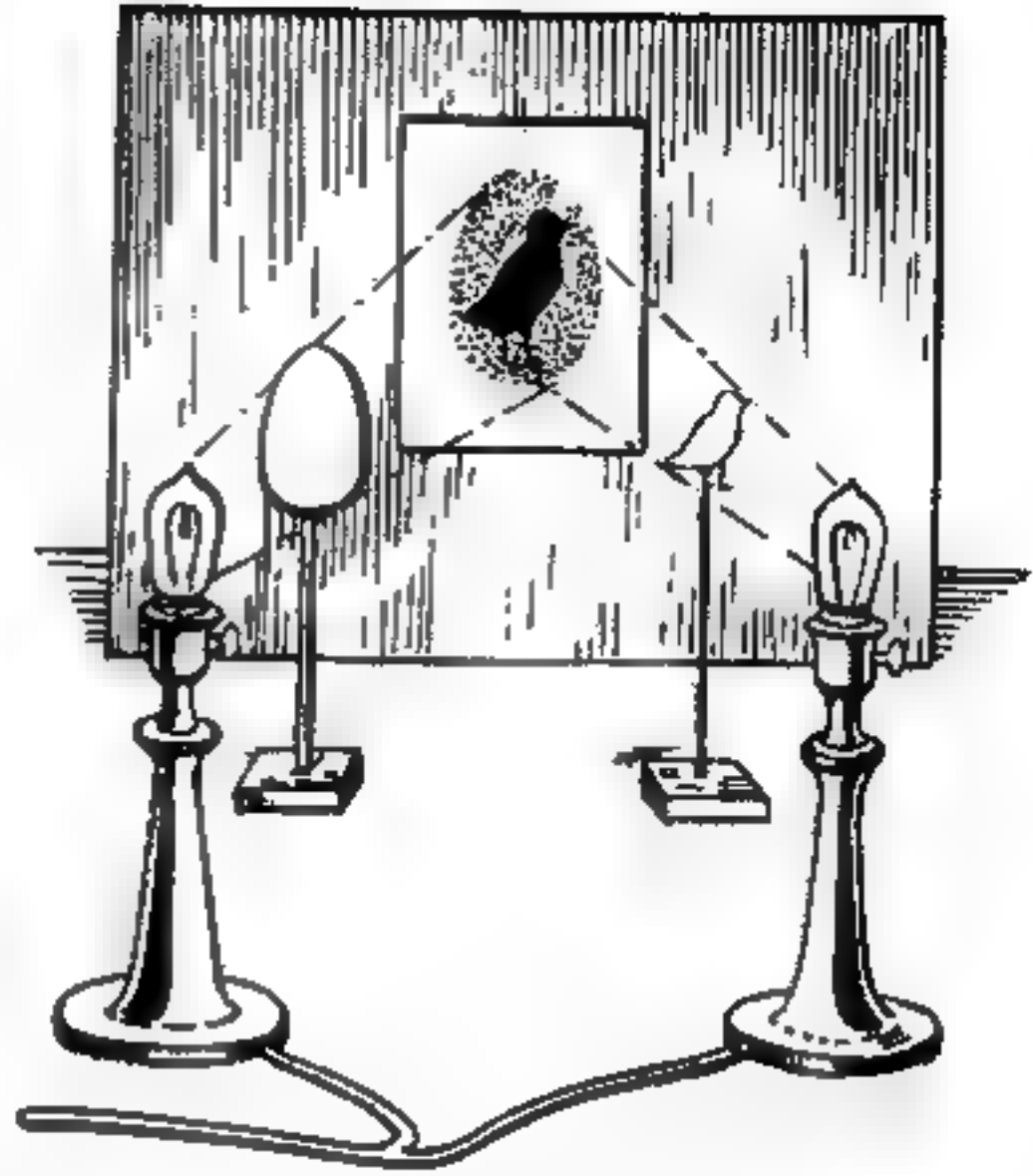
والشيء الطريف هنا ، هو ان الاسم اللاتيني لكلمة « خيال » وهو « silhouette » مأخوذ من اسم عائلة وزير مالية فرنسا في منتصف القرن الثامن عشر ، وهو (Etienne de Silhouette). وكان هذا الوزير قد دعا معاصريه الى الاقتصاد المعقول ، وعاتب النبلاء الفرنسيين ، على صرف المبالغ الطائلة بغية الحصول على اللوحات الفنية والصور الشخصية . وكان يخص الصور الظلية ، هو الدافع الذي جعل بعض الظرفاء في ذلك الوقت ، يطلقون عليها اسم ذلك الوزير .

الفرخ في داخل البيضة

يمكن الاستفادة من خواص الظلال ، لنعرض على الاصدقاء بعض الملاعب المسلية الطريفة . نأخذ ورقة مدهنة ونجعل منها شاشة ، وذلك بلمسها فوق فراغ مربع الشكل ، محفور على قطعة من الورق المقوى ، ونضع خلف الشاشة مصباحين ، اما المشاهدون فسيجلسون اما الشاشة ، من الجهة المقابلة . نضيء احد المصباحين ، وليكن المصباح الايسر مثلاً .

والآن نضع بين المصباح المضاء والشاشة ، قطعة بيضوية الشكل من الكارتون ، مثبتة على حامل سلكي . وعندئذ سيظهر على الشاشة بطبيعة الحال ، خيال البيضة (لا داعي الآن لاضاءة المصباح الثاني) . والآن اخبر الضيوف بان جهاز رونتجن (اشعة اكس) سيبدأ في العمل ، ويريهم الفرخ في داخل البيضة ! وبعد برهة قصيرة ، يشاهد الضيوف بالفعل ، خيال البيضة المتألق الاطراف ، وقد ظهر في وسطه خيال الفرخ ، بصورة واضحة للغاية (شكل ٩١) . ان حل هذا اللغز بسيط

جدا : انا نضئ المصباح الايمن ،
الذى تعترض طريق اشعته قطعة من
الكارتون مقصوفة على هيئة فرخ . ان
جزء الظل البيضى ، الذى يسقط
عليه ظل الفرخ ، يكون مضاء بواسطة
المصباح الايمن ، ولذلك تكون
اطراف البيضة اكثر تألقا من قسمها
الداخلى . اما المشاهدون الجالسون من
الناحية الاخرى للشاشة ، وهم لا يشكون
فيما يعرض امامهم ، فقد يفكرون على
الارجح - اذا لم يكن لهم اطلاع على
الفيزياء او علم التشريح - بان البيضة
بالفعل قد ادخلت فى جهاز رونتجن .



شكل ٩١ : صورة بأشعة رونتجن (اكس) الزيفة .

صور كاديكاتورية

ان كثيرا من القراء لا يعلم ان بالامكان صنع آلة التصوير ، دون استخدام اية
عدسة ، اذ يستعاض عنها بفتحة دائرية صغيرة . ولكن الصورة تكون عندئذ ، اقل
وضوحا . وهناك نوع طريف من انواع آلات التصوير الخالية من العدسات ، يسمى
بآلة التصوير « ذات الشقين » ، اذ يوجد فيها بدل الفتحة الدائرية ، شقان متصلبان .
وتوجد فى مقدمة آلة التصوير شريحتان خشبيتان ، وقد حفر فى احدهما شق عمودى ،
وفى الثانية شق افقى . فاذا قربنا الشريحتين من بعضهما تماما ، فسوف نحصل على
صورة مماثلة للصورة التى نحصل عليها بواسطة آلة التصوير ذات الفتحة الدائرية .
اي صورة حقيقية . ويختلف الامر تماما ، اذا ما ابعدنا الشريحتين عن بعضهما



شكل ٩٢ : صورة كاريكاتورية مسطوطة افقيا . (تم
الحصول عليها بواسطة آلة التصوير ذات الشق)



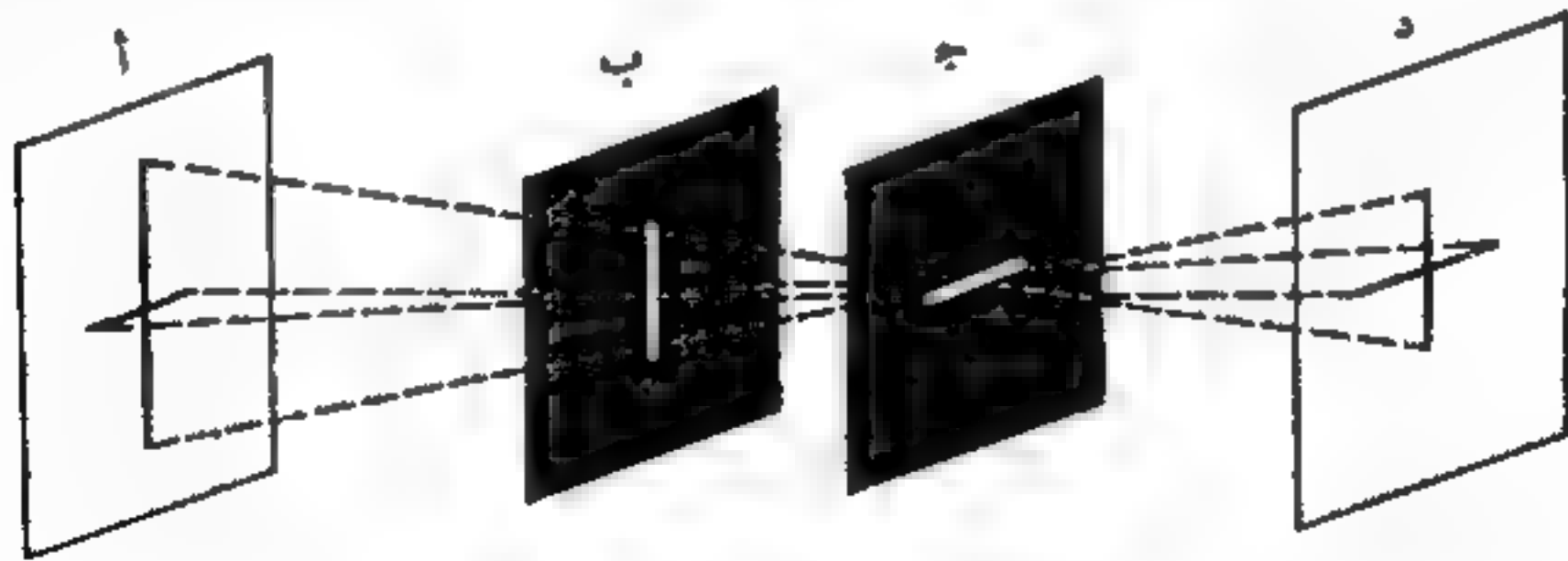
شكل ٩٣ : صورة كاريكاتورية مسطوطة عموديا (تم
الحصول عليها بواسطة آلة التصوير ذات الشق) .

لمسافة قليلة (وتكون الشريحتان في وضع يسمح بتحريكهما قصداً) ؛ عندئذ تشوه الصورة بشكل مضحك ، كما هو مبين في الشكلين ٩٢ و ٩٣ . ويكون من الأصح ان نسميها صورة كاريكاتورية ، وليس صورة فوتوغرافية .

بماذا يفسر هذا التشوه ؟

لندرس الحالة التي يكون فيها الشق الأفقي امام الشق العمودي (شكل ٩٤) . ان الاشعة المنبعثة عن الخطوط العمودية للجسم د (الصليب) ، تمر من خلال الشق الاول ج ، مثلما تمر من خلال اية فتحة اخرى بسيطة ، ولا يؤثر الشق الخلفي على مرور هذه الاشعة مطلقاً . ونتيجة لذلك ، فان صورة الخط العمودي تظهر على لوح الزجاج المستفراً ، بمقياس يتناسب مع المسافة الفاصلة بين اللوح الزجاجي أ وبين الشريحة ج .

اما صورة الخط الأفقي التي تظهر على اللوح الزجاجي والتي تكون لها نفس الوضعية السابقة للشقين ، فتختلف عن ذلك تماماً . ان الاشعة تعبر من خلال الشق الاول (الأفقي) بدون اية عقبة ، ولا تتقاطع الا عندما تصل الى الشق العمودي ب ، وتعبر من خلاله مثلما تعبر من خلال فتحة ما ، لتشكل على اللوح الزجاجي أ صورة بمقياس يتناسب مع المسافة الفاصلة بين اللوح الزجاجي أ وبين الشريحة الثانية ب . وباختصار ، فعند الوضعية المذكورة للشقين ، لا يهم الخطوط العمودية سوى الشق الامامي ج ؛ وعلى العكس من ذلك ، لا يهم الخطوط الأفقية سوى الشق الخلفي



شكل ٩٤ : سبب تشوه الصور الملتقطة بآلة التصوير ذات الشق .

ب . ولما كان الشق الامامى ج ، اكثر بعدا عن اللوح الزجاجى أ ، من الشق الخلفى ب ، فان كافة الابعاد العمودية تكون ممثلة على اللوح الزجاجى أ بمقياس اكبر من مقياس الابعاد الافقية . وبعبارة اخرى ، تظهر الصورة وكأنها ممطوطة عموديا (شكل ٩٣) .

وعلى العكس من ذلك ، فعند قلب وضعية الشقين ، تظهر الصورة وكأنها ممطوطة افقيا (شكل ٩٢) .

ومن الواضح انه عند وضع الشقين بصورة مائلة ، سنحصل طبقا لذلك ، على صورة مشوهة من نوع آخر .

ولا تستخدم آلة التصوير هذه لغرض الحصول على صور كاريكاتورية فقط ، بل وتستخدم ايضا لاغراض عملية اكثر اهمية . فمثلا ، تستخدم لاعداد اوجه متنوعة للزخرفة المعمارية ، وزخرفة السجاجيد وورق الجدران وغير ذلك ، وبصورة عامة ، للحصول على نقوش وزخارف ، ممطوطة او مضغوطة فى اتجاه معين وذلك حسب رغبة الفنان .

مسألة حول شروق الشمس

لنفرض اننا قمنا بمراقبة شروق الشمس ، فى الساعة الخامسة صباحا بالضبط . ولكن المعروف ان الضوء لا ينتشر فى لمح البصر ، بل تحتاج اشعته الى بعض الوقت لكى تصل من مصدر الضوء الى عين المراقب . ولذلك يمكن ان نطرح السؤال التالى : فى اية ساعة بالضبط ، كنا سنشاهد ذلك الشروق بالذات ، لو كان الضوء ينتشر فى لمح البصر ؟

ان الضوء يقطع المسافة بين الشمس والارض فى ٨ دقائق . يظهر من ذلك ، انه عند انتشار الضوء فى لمح البصر ، كنا سنشاهد شروق الشمس قبل موعده بـ ٨ دقائق ، اى فى الساعة الرابعة والدقيقة الثانية والخمسين .

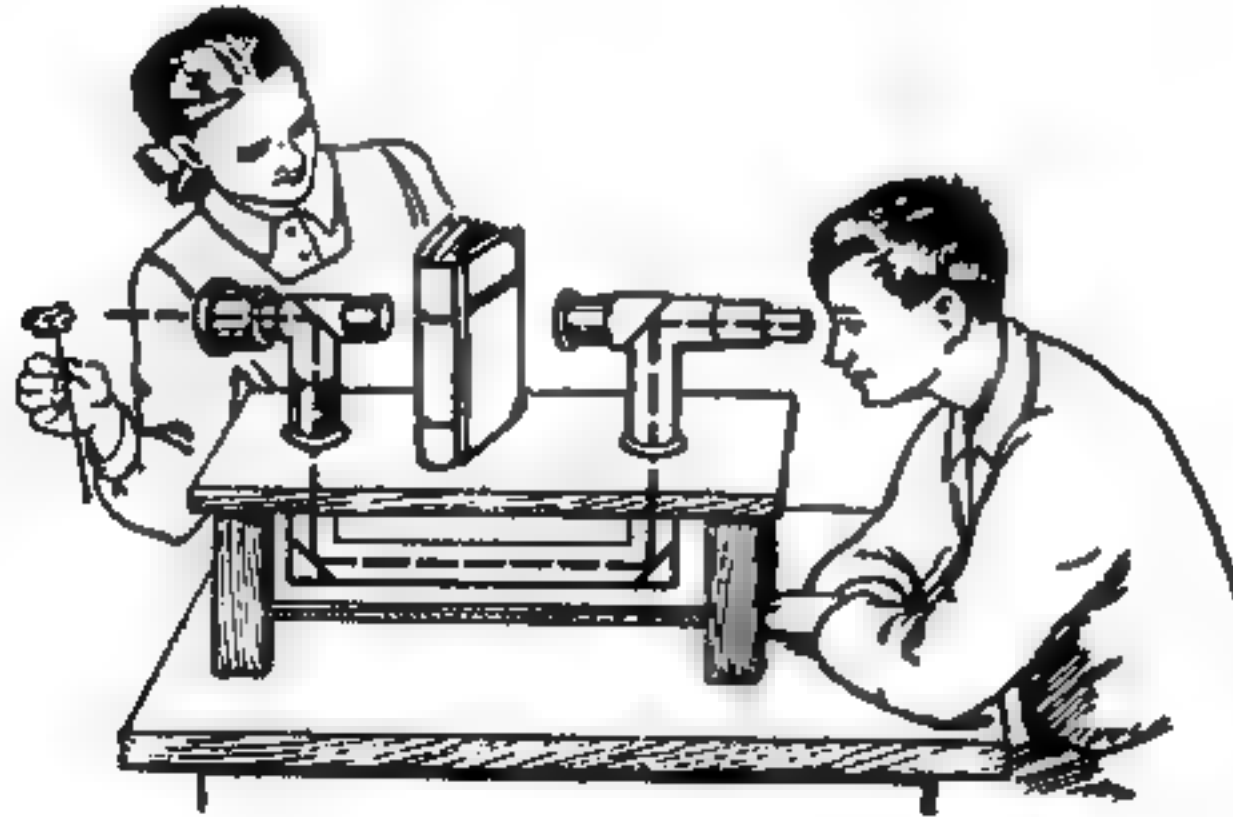
وربما استغرب الكثير من الناس ، اذا ما علم بان الاجابة السابقة غير صحيحة مطلقا . ان الشمس تشرق ، لان الكرة الارضية تدور لتواجه الفراغ المضاء سابقا . ولهذا السبب ، فعند انتشار الضوء في لمح البصر ، كنا سنشاهد شروق الشمس في نفس اللحظة ، اى فى الساعة الخامسة صباحا بالضبط * .

ويختلف الامر اذا ما قمنا بمراقبة ظهور تنوء ما على حافة الشمس « بالتلسكوب » . اذ اننا فى حالة انتشار الضوء فى لمح البصر ، كنا سنشاهده قبل ٨ دقائق .

* اذا أخذنا فى الاعتبار ما يسمى بـ « الانكسار الجوى » ، فان النتيجة ستكون غير متوقعة اكثر . ان الانكسار يعنى طريق الاشعة فى الفضاء ، وبذلك يجعلنا نشاهد شروق الشمس ، قبل ظهورها بانفعل فوق الافق . ولكن عند انتشار الضوء فى لمح البصر ، لا يمكن حدوث الانكسار ، وذلك لان الانكسار يعتمد فى حدوثه على اختلاف سرعة الضوء فى الاوساط المختلفة . وعدم وجود الانكسار ، يجعل المراقب يشاهد شروق الشمس ، فى وقت متأخر قليلا ، عما هو عليه ، فى حالة عدم انتشار الضوء فى لمح البصر . وهذا الاختلاف يعتمد على خط العرض الذى يقع عليه مكان المراقبة ، وعلى درجة حرارة الهواء وعلى عوامل اخرى . وتتراوح قيمة ذلك الاختلاف (الفرق) بين دقيقتين وبضعة ايام ، وحتى اكثر من ذلك (عند خطوط العرض القطبية) . ويتج من ذلك تناقض ظاهرى طريف : عند انتشار الضوء فى لمح البصر ، فان شروق الشمس يبين فى وقت اكثر تأخيرا من الوقت الذى يبين فيه ، عند عدم انتشار الضوء فى لمح البصر !

الرؤية من خلال الجدران

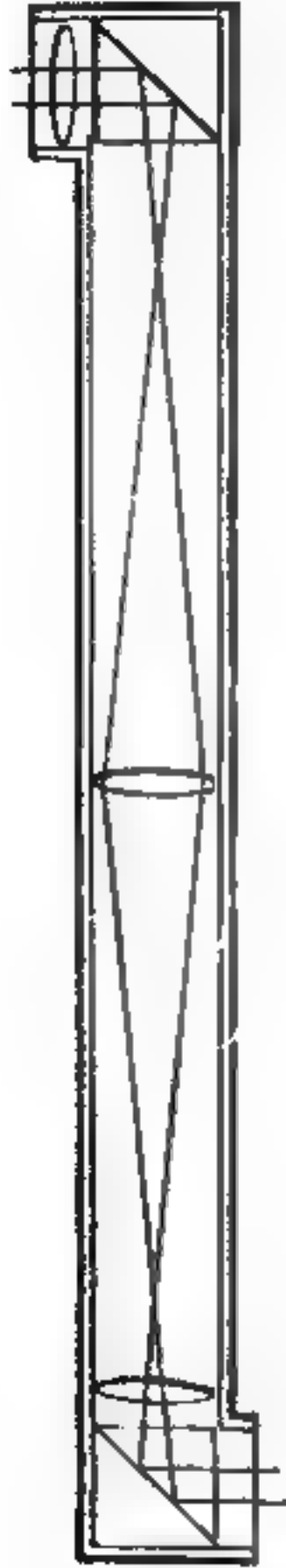
في تسعينيات القرن الماضي ، كان يباع في الاسواق جهاز يحمل اسما رنانا هو «جهاز رونتينجن» . واتذكر كيف اصابني الارتباك ، عندما تناولت بيدي لأول مرة ، ذلك الجهاز الماهر الصنع ، وكنت لم ازل بعد تلميذا . وقد استطعت بواسطته ، ان ارى الاشياء خلال حواجز غير منفذة ! وقد تمكنت ان اميّز الاشياء المحيطة بي ، ليس خلال ورقة سميكة فقط ، بل وخلال نصل السكين ، الذي لا يمكن ان تخترقه حتى اشعة اكس الحقيقية . واذا نظرنا الى الشكل ٩٥ ، الذي يبين لنا النموذج الاصلى لذلك الجهاز المذكور ، فسوف نعرف سر تركيبه في الحال . يحتوى الجهاز على



شكل ٩٥ : جهاز رونتينجن (اشعة اكس) المزيف .

اربع مرايا صغيرة ، مائلة بزاوية 45° ، تقوم بعكس الاشعة عدة مرات ، الى ان تمررها حول الحاجز غير المنفذ .

وتستخدم مثل هذه الاجهزة بكثرة ، فى المهمات الحربية . ويمكن عند الجلوس فى الخندق ، مراقبة تحركات العدو ، دون ان نرفع الرأس فوق مستوى الارض ، وبذلك



شكل ٩٧ : رسم تخطيطى
ليبريسكوب الغواصة .



شكل ٩٦ : الليبريسكوب .

تجنب نار العدو . ويسمى الجهاز الذى نستخدمه لهذا الغرض بـ «البيريسكوب» وهو مبين فى الشكل ٩٦ .

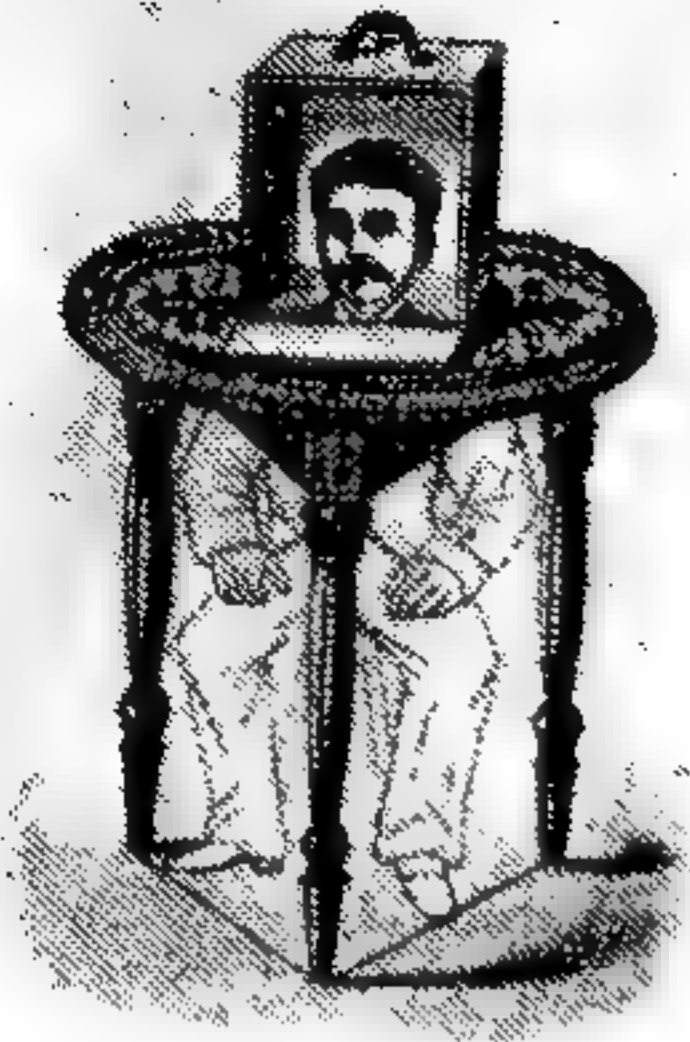
وكلما طال طريق الاشعة من الهدف الى عين المراقب ، كلما قل مجال الابصار الحاصل فى البيريسكوب . ولتكبير مجال الابصار تستخدم مجموعة خاصة من العدسات البصرية . ولكن العدسات تمتص جزءا من الضوء الداخلى الى البيريسكوب . ولهذا السبب ، يقل وضوح الرؤية ، الامر الذى من شأنه تحديد الارتفاع الاقصى للبيريسكوب ، بحوالى عشرين مترا . اما الاجهزة التى يزيد ارتفاعها على ذلك ، فتعطى مجال ابصار صغير جدا ، وتكون الصورة فيها غير واضحة ، وخاصة فى الجو الغائم .

وباستخدام البيريسكوب ، يستطيع قائد الغواصة ان يراقب السفينة التى يريد مهاجمتها — للبيريسكوب ماسورة طويلة يخرج طرفها فوق سطح الماء . وتركيب هذا البيريسكوب اكثر تعقيدا من تركيب البيريسكوب البرى ، غير ان المبدأ واحد : تعكس الاشعة بواسطة مرآة (او مواشير) ، مثبتة فى الجزء البارز من البيريسكوب ، وتمر بعد انعكاسها فى داخل الماسورة بصورة محاذية لها ، ثم تنعكس فى القسم السفلى ، وتذهب الى عين المراقب (شكل ٩٧) .

الرأس «المقطوع» يتكلم !

ان هذه «المعجزة» كثيرا ما طالعت الناس سابقا ، وخاصة فى «متاحف الطرائف» المتنقلة فى الريف . وفى الحقيقة ، فان هذه المعجزة تذهل الانسان ، اذ يرى امامه رأسا آدميا مقطوعا ، وقد وضع فى طبق على منضدة صغيرة ، وهو حى (اى الرأس) تتحرك عيونه ويتكلم ويأكل ! وبالرغم من عدم استطاعة احد من المشاهدين ، التقرب من المنضدة — لوجود حاجز — يتضح انه لا يوجد اى شيء نحتها .

واذا ما شاهد القارئ فى المستقبل مثل هذه «المعجزة» . فما عليه الا ان يأخذ ورقة مجعدة ، ويقذفها فى الفراغ الموجود تحت المنضدة . سيرى بعد ذلك ان اللغز



قد اصبح واضحا في الحال : اذ سترتد الورقة
عن المرآة ! واذا لم تصل الى المرآة ، فانها مع
ذلك ستكشف وجود المرآة ، وذلك لان صورتها
ستظهر فيها (شكل ٩٨) .

ويكفى ان نضع مرآة تمتد من احدى
قوائم المنضدة الى القائمة الاخرى ، لكي يظهر
الفراغ الموجود تحتها خاليا بالنسبة للمشاهد
البعيد — طبعا في حالة واحدة فقط ، هي عند
عدم انعكاس اثاث الغرفة او الجمهور ، في
المرآة . ولهذا ، يجب ان تكون الغرفة خالية ،
والجدران متشابهة تماما ، وارضية الغرفة مدهونة
بلون واحد ، بلا زخرفة ، ويبعد الجمهور
عن المرآة بمسافة كافية تفي بالغرض .

شكل ٩٨ : سر الرأس « المقطوع » .

ان السر هنا بسيط جدا . ولكن لعدم اطلاع القارئ عليه بعد ، فانه سيبقى
حائرا في ماهيته .

واحيانا ، يزداد الملعب غواية . يقوم الحاوي اولا بعرض المنضدة وهي فارغة ،
لا يوجد اى شيء فوقها او تحتها . ثم يجلب مساعدوه من وراء المسرح ، صندوقا
مقفلا ، كما لو كان في داخله الرأس المقطوع (اما في الواقع فان الصندوق فارغ) .
يضع الحاوي هذا الصندوق على المنضدة ، ويفتح الجدار الامامي — ويظهر امام
الجمهور المشدوه ، رأس مقطوع يتكلم . ربما يكون القارئ الآن قد عرف ان سطح
المنضدة يحتوي على قسم قلابي ، يسد الفتحة ، التي من خلالها يقوم الرجل الجالس
تحت المنضدة ، وراء المرآة ، باخراج رأسه عندما يوضع على المنضدة ، ذلك الصندوق
الفارغ ، الذي لا يحتوي على قعر . وهناك طرق اخرى عديدة للقيام بمثل هذه الخدعة ،
لا يتسع المجال لذكرها هنا ، ونأمل ان يكون بمستطاع القارئ حل الغازها بنفسه .

من الامام ام من الوداء ؟

هناك كثير من اللوازم المتزلية ، التي لا يحسن عدد كبير من الناس ، استخدامها بصورة ملائمة للغرض . وقد ذكرنا سابقا ، ان بعض الناس لا يحسنون استخدام الجليد للتبريد ، اذ يضعون الشراب المراد تبريده ، على الجليد ، بدلا من وضعه تحته . ويتضح ان عددا من الناس لا يحسن استغلال المرأة . ففى كثير من الاحيان ، عندما يريد احدهم رؤية نفسه بوضوح فى المرأة ، يأتى بمصباح ويضعه وراءه ، لكى « يضىء صورته » ، بدلا من اضاءة نفسه بالذات ! وهناك كثير من النساء ، يتصرفن على هذا النحو . اما قارئة هذا الكتاب ، فلا شك فى انها ستتنبه الى ضرورة وضع المصباح امام نفسها .

هل يمكن رؤية المرأة ؟

وهذا دليل آخر على عدم معرفتنا الكافية بالمرأة العادية : فعندما نسأل ، هل يمكن رؤية المرأة ، يجيب اكثر الناس اجابة غير صحيحة ، مع ان الجميع ينظر فى المرأة يوميا ؟

ان من يعتقد انه يستطيع رؤية المرأة ، يكون مخطئا . ان المرأة الجيدة النظيفة ، لا ترى مطلقا . يمكن رؤية اطار المرأة وحافاتنا ، والاشياء المنعكسة فيها ، اما المرأة نفسها ، فيما اذا لم تكن متسخة ، فلا يمكن رؤيتها . ان كل سطح عاكس ، يتميز عن السطح المشتت ، بانه غير مرئى بتاتا (السطح المشتت ، هو ذلك السطح الذى يشتت اشعة الضوء ، فى كافة الاتجاهات الممكنة . وفى حياتنا العملية ، نسمى السطح العاكس بالسطح الملمع - المصقول - والسطح المشتت ، بالسطح العاتم) . ان كافة الحيل والالغاز يتم تنفيذها عن طريق استخدام المرايا وحتى لو أخذنا على سبيل المثال تجربة الرأس « المقطوع » ، فان سر هذه الخدعة يكمن فى ان المرأة نفسها غير مرئية ، اما ما نشاهده فهو الاشياء المنعكسة منها فقط .

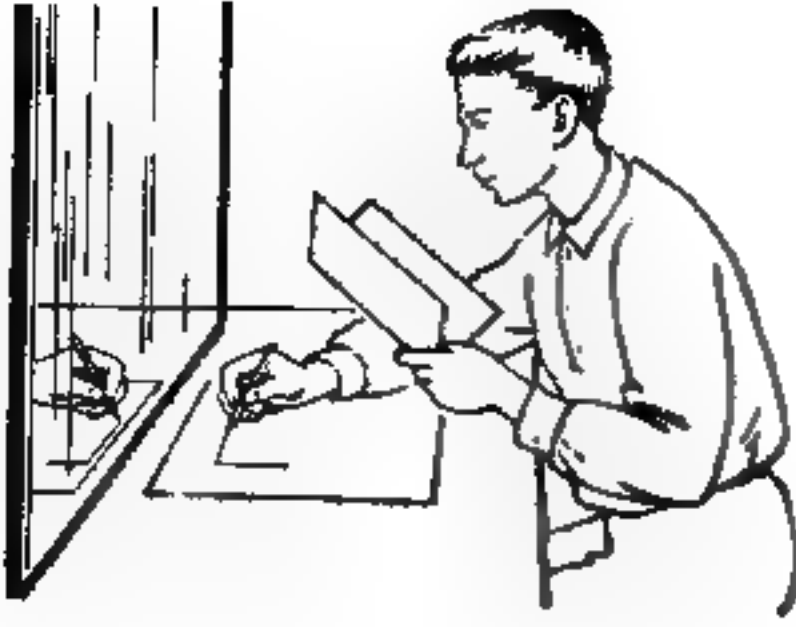
من نرى عندما ننظر في المرأة ؟

« طبعا نرى انفسنا — هذا ما يجيبه الكثير من الناس ، لان صورتنا في المرأة هي نسخة طبق الاصل منا ، وتشبهنا من كافة الوجوه » .

ولكن ، اليس من الملائم التأكد من هذا التشابه ؟ لنفرض ان للقارئ شامة على خده الايمن ، فلو نظر في المرأة لرأى ان الخد الايمن لشيبهه نظيف . اما الخد الايسر ، فعليه شامة . واذا كنت تمشط شعرك على الجهة اليمنى ، فسيمشط شبيهك شعره على الجهة اليسرى . واذا كان حاجبك الايمن اعلى واكثف من الايسر ، فسيكون شبيهك بعكس ذلك ، فالحاجب الايمن عنده واطى وغير كثيف . واذا كنت تضع الساعة في الجيب الايمن للسترة ، ودفتر المذكرات في الجيب الايسر ، فستكون ساعة شبيهك موضوعة في جيبه الايسر ، ودفتر المذكرات في جيبه الايمن . لاحظ مبناء الساعة التى يحملها شبيهك ، لم يكن عندك مثل هذه الساعة ابدا : ان ترتيب ونخط الارقام الموجودة على الميناء ، غير طبيعيين . مثلا ان الرقم ثمانية ، مخطوط بشكل غريب ليس له وجود فى العالم — IIX ، وقد وضع فى مكان الرقم اثنى عشر ، الذى ليس له وجود بدوره . وبعد الرقم ستة يأتى الرقم خمسة . . وهكذا (شكل ٩٩) . وبالإضافة الى ذلك ، فان عقارب ساعة شبيهك ، تتحرك عكس الحركة العادية لعقارب ساعتك .

واخيرا ، فان لشبيهك فى المرأة ، عيبا بدنيا لا يوجد فيك على كل حال ، انه اعسر . فهو يكتب ويخط ويأكل باليد اليسرى ، واذا اردت ان تحيه ، فسوف يرد عليك التحية باليد اليسرى .

وليس من السهل ان نقرر ، فيما اذا كان شبيهك يعرف القراءة والكتابة ام لا . وعلى كل حال فهو يعرف القراءة والكتابة على طريقته الخاصة . ولا اعتقد بانك تستطيع ان تقرأ ولو سطرا واحدا ، من اسطر الكتاب الذى يحمله ، او كلمة واحدة من الكلمات المشوهة التى يخطها بيده اليسرى .



شكل ١٠٠ : الرسم امام المرأة .



شكل ٩٩ : هذه ساعة
شبهك الذى تراه فى المرأة .

ذلك هو الشخص الذى يدعى انه يشبهك تماما ! وانت بدورك ، تريد ان تحكم على منظرك الخارجى بمنظر ذلك الشخص .
لندع المزاح جانبا : اذا كان القارئ يفكر بانه عندما ينظر فى المرأة ، يرى نفسه ، فانه يخطئ فى ذلك . ان الوجه والجسم والملابس ، ليست متماثلة تماما عند اكثر الناس (بالرغم من اننا فى العادة ، لا نلاحظ ذلك) . ان النصف الايمن لا يشبه النصف الايسر كامل الشبه . وفى المرأة ، تنتقل كافة ميزات النصف الايمن الى النصف الايسر ، وبالعكس ، بحيث يظهر امامنا جسم ، يعطى فى اكثر الاحيان ، انطباعا يختلف تماما عن الانطباع الذى يعطيه جسمنا بالذات .

الرسم امام المرأة

ان عدم تماثل الصورة التى تظهر فى المرأة ، مع الاصل ، يبدو اكثر وضوحا عند القيام بالتجربة التالية :
ضع امامك على المنضدة ، مرآة بصورة عمودية على مستوى المنضدة ، ثم ضع امام المرأة ورقة ، وحاول ان ترسم عليها اى شكل ، مثلا مستطيلا بخطوط قطرية متقاطعة ، على الا تنظر اثناء ذلك الى يدك مباشرة ، بل تتبع حركات صورتها فى المرأة (شكل ١٠٠) .

سوف تتأكد ان هذه العملية البسيطة ، تصبح تقريبا غير ممكنة التحقيق .
فخلال سنوات عديدة من عمرنا ، حصل توافق معين بين الانطباعات البصرية
والاحاسيس الحركية . والمرأة تخل بهذا التوافق ، وذلك لانها تظهر لنا حركات اليد
بصورة مشوهة . ان العادات المستحكمة ، ستعارض كل حركة تقوم بها اليد : فاذا
اردت ان ترسم خطا من اليسار الى اليمين ، سترى ان يدك تحرك القلم من اليمين الى
اليسار . . . وهكذا .

وسوف تظهر امامك اشياء اخرى غريبة غير متوقعة . فاذا حاولت ان ترسم
بدل الاشكال البسيطة ، اشكالا اكثر تعقيدا ، او ان تكتب شيئا ما وتنظر الى السطور
فى المرأة ، عندئذ سترى اشياء مختلطة تدعو الى الضحك .

والاختام التى تختم بها الاوراق ، هى الاخرى عبارة عن صور للتماثل الانعكاسى .
لاحظ الكتابات الموجودة على اوراقك الخاصة ، وحاول ان تقرأها فى المرأة . انك
سوف لا تستطيع ان تقرأ حتى كلمة واحدة منها ، ولو كانت اوضح الكلمات : ان
للحروف ميلا غير طبيعى نحو اليسار (او نحو اليمين بالنسبة للغة العربية) ، والشئ
الرئيسى هو ان تتابع السطور ، يختلف عن التابع الذى اعتدت عليه . واذا وضعت
المرأة بصورة عمودية على الورقة ، لاستطعت ان ترى فيها كافة الحروف ، كما
اعتدت على مشاهدتها دائما . ان المرأة تعطى صورة متماثلة ، لما هو بالذات صورة
متماثلة لخط يدك .

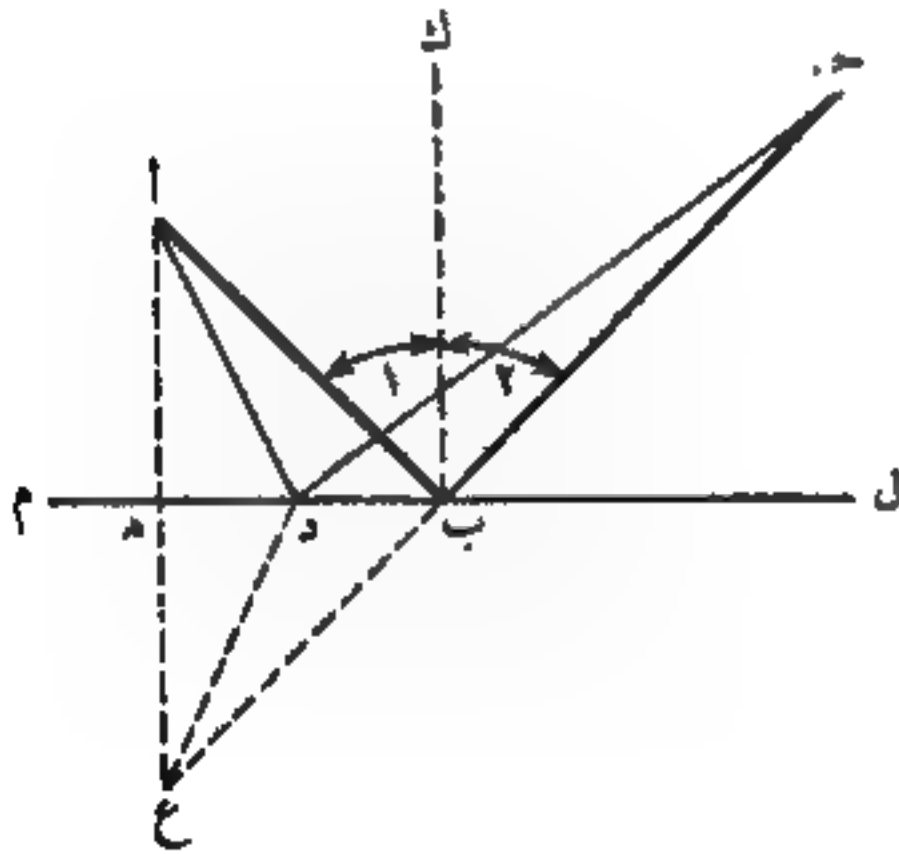
اقصر واسرع طريق

ان الضوء ينتشر فى الوسط المتجانس ، بصورة مستقيمة ، اى باقصر طريق .
غير انه يختار اقصر طريق ايضا ، عندما لا ينتشر من نقطة الى اخرى مباشرة ، بل
بعد انعكاسه فى المرأة .

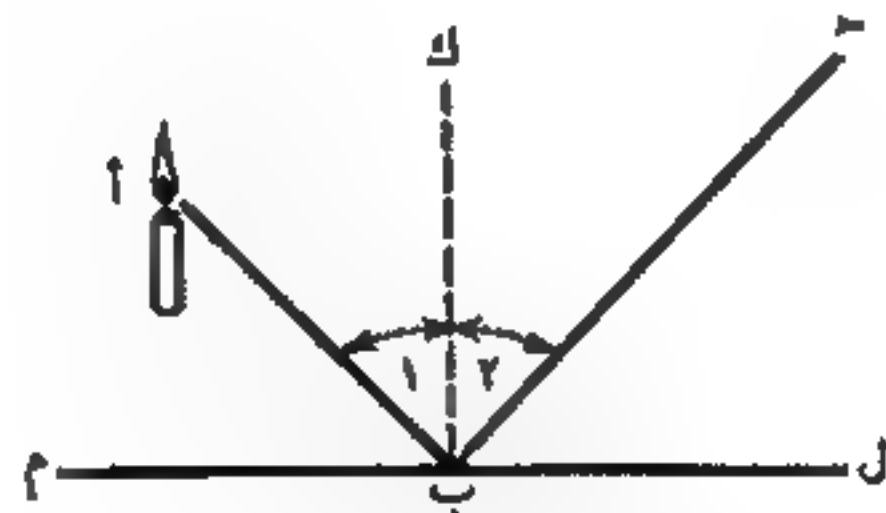
والآن لنتبع طريق الضوء . لنفرض ان الحرف أ فى الشكل ١٠١ ، يمثل

مصدر الضوء ، والخط م ل يمثل المرآة ، اما الحظ المنكسر أ ب ج ، فيمثل طريق الشعاع ، المنبعث من الشمعة الى العين ج . والمستقيم ك ب عمودى على م ل . وحسب قوانين الضوء ، فان زاوية الانعكاس ٢ ، تساوى زاوية السقوط ١ . وبمعرفة ذلك ، يمكن ان تثبت بسهولة ، ان الطريق أ ب ج ، هو اقصر الطرق الممكنة ، التى تصل بين أ و ج ، مع المرور بسطح المرآة م ل . ولهذا الغرض ، نقارن طريق الشعاع أ ب ج ، مع طريق آخر ، مثلاً أ د ج (شكل ١٠٢) . ننزل العمود أ ه من النقطة أ على الخط م ل ، ونمدّه الى الاسفل حتى يتقاطع مع امتداد الشعاع ب ج فى النقطة ع .

ونصل كذلك النقطتين ع و د بالمستقيم ع د . لتأكد قبل كل شيء ، من تطابق المثلثين أ ب ه و ه ب ع . ان المثلثين قائما الزاوية ولهما ضلع مشترك هو ه ب ، وبالإضافة الى ذلك ، فان الزاويتين ه ع ب و ه أ ب ، متساويتان فيما بينهما ، وذلك لانهما تتساويان بالتطابق ، مع الزاويتين ١ و ٢ . اذن ، $أ ه = ه ع$. وينتج مما سبق ان المثلثين أ ه د و ه د ع متطابقان ، وذلك لتساوى الضلعين القائمين . اذن ، $أ د = د ع$.



شكل ١٠٢ : ان الضوء عند انعكاسه يختار اقصر الطرق .



شكل ١٠١ : ان زاوية الانعكاس (٢) تساوى زاوية السقوط (١) .

وبناء على ذلك ، نستطيع الاستعاضة عن الطريق أ ب ج ، بالطريق ج ب ع المساوي له (لان $أب = ع ب$) ، والاستعاضة عن الطريق أ د ج بالطريق ج د ع . وبمقارنة الطريقين ج ب ع و ج د ع ، مع بعضهما ، نجد ان الخط المستقيم ج ب ع اقصر من الخط المنكسر ج د ع . ويتج من ذلك ان الطريق أ ب ج اقصر من الطريق أ د ج ، وهو المطلوب اثباته !

واينما وقعت النقطة د ، فان الطريق أ ب ج ، سيكون دائما اقصر من الطريق أ د ج ، فيما اذا كانت زاوية الانعكاس مساوية لزاوية السقوط . وهذا يعنى ان الضوء بالفعل يختار اقصر واسرع طريق من بين كافة الطرق الممكنة ، الواصلة بين كل من مصدر الضوء والمرآة والعين .

وقد اشار الى ذلك لأول مرة ، العالم الاغريقى القديم هيرون الاسكندرى .

طيران الغراب

ان المقدرة على ايجاد اقصر طريق ، فى مثل الحالات التى بحثناها سابقا ، تساعدنا على حل بعض الالغاز . وعلى سبيل المثال اليكم المسألة التالية .

غراب جالس على غصن شجرة . وتوجد فى اسفل الشجرة على الارض ، حبوب مبعثرة . يهبط الغراب من الغصن ، ثم يلتقط حبة ويطير ليحط على السياج . والسؤال الآن هو : من اى مكان يجب ان يلتقط الغراب تلك الحبة ، بحيث يكون طريقه اقصر ما يمكن ؟ (شكل ١٠٣) .

ان هذه المسألة مشابهة تماما ، للمسألة التى بحثناها توا . ولذلك لا يصعب علينا ان نجيب على هذا السؤال اجابة صحيحة :

يجب على الغراب ان يسلك طريق شعاع الضوء ، اى يطير بحيث تكون الزاوية ١ مساوية للزاوية ٢ (شكل ١٠٤) . وقد رأينا سابقا كيف ان الطريق فى هذه الحالة ، يكون اقصر ما يمكن .



شكل ١٠٣ : مسألة الغراب . ايجاد اقصر طريق الى السياج .

الكاليدوسكوب (نظارة الاشكال والالوان الجميلة)

يعرف الجميع ما هو الكاليدوسكوب. انه عبارة عن بعض الشظايا الزجاجية لمرقشة (الملونة) ، الموضوعة بين ثلاث مرايا مسطحة صغيرة . ويعطى الكاليدوسكوب اشكالا جميلة مذهشة ، تتغير عند اقل استدارة . ومع ان الكاليدوسكوب معروف الى درجة كافية ، فان قليلا من الناس يشكون في العدد الهائل للاشكال المتنوعة التي يمكن الحصول عليها بواسطته . لنفرض ان الكاليدوسكوب الذي بين يدينا ، يحتوي على ٢٠ شظية زجاجية ، واننا نديره في الدقيقة الواحدة ١٠ مرات ، للحصول على وضع جديد لتلك الشظايا العاكسة . ما هو الوقت اللازم ، لكي نستطيع مشاهدة جميع الاشكال المتكونة عند ذلك ؟

ان اوسع خيال في العالم لا يمكن ان يتصور الاجابة الصحيحة على هذا السؤال . قد تجف المحيطات وتترعزع سلاسل الجبال ، قبل ان تنفذ كافة الزخارف ، التي تختفي بشكل بديع داخل ذلك الكاليدوسكوب الصغير . وذلك لاننا اذا اردنا

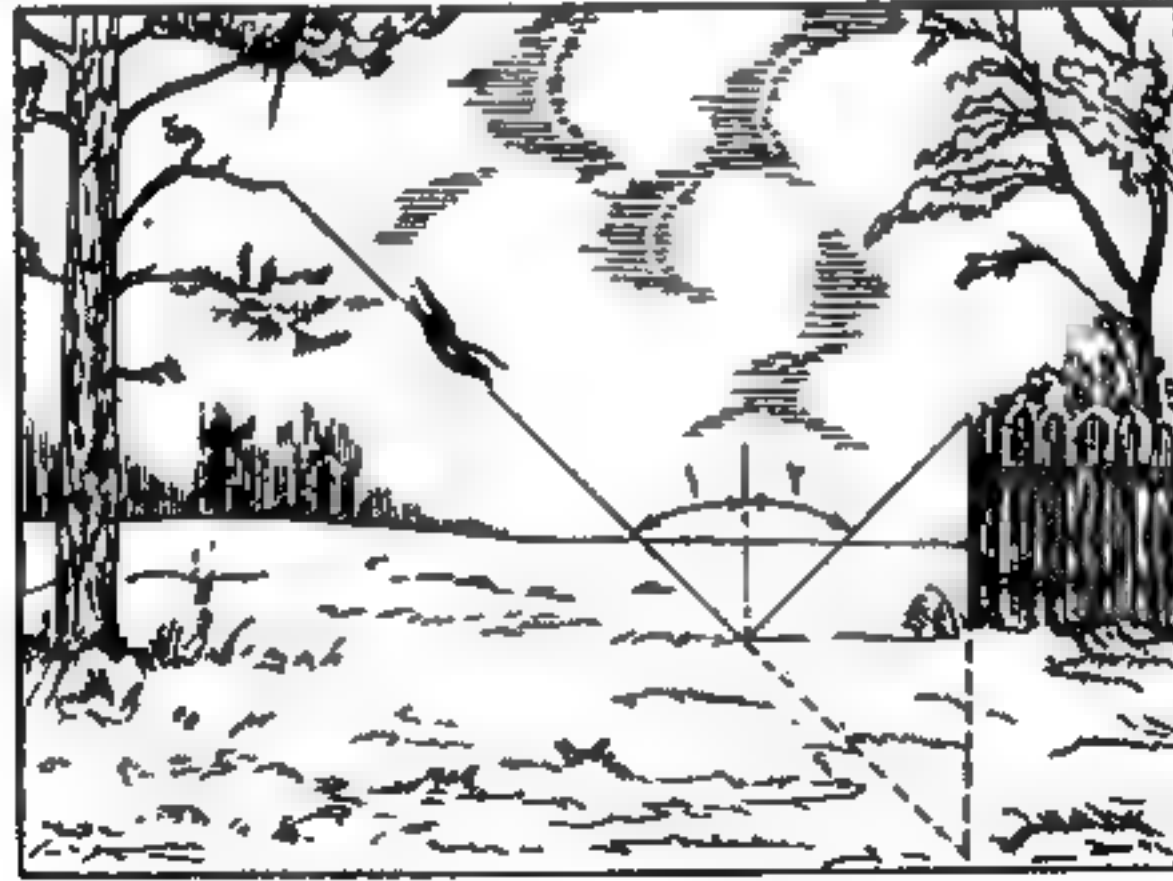
تنفيذ (عمل) كافة الزخارف ، لاحتجنا الى ٥٠٠٠٠٠ مليون سنة على الاقل . اى
نحتاج الى تدوير الكاليدوسكوب لمدة خمسمائة الف مليون سنة ، لكي نتمكن من
مشاهدة كافة زخارفه .

ان زخارف الكاليدوسكوب اللامتناهية الانواع والمتغيرة على الدوام ، ما زالت
منذ مدة طويلة ، موضع اهتمام رسامى الزخارف ، الذين لا تستطيع مخيلتهم منافسة
ابداعات الكاليدوسكوب ، التى لا تنضب .

ويعطى الكاليدوسكوب احيانا ، زخارف رائعة الجمال ، يمكن استخدامها بمثابة
نماذج لنقوش ورق الجدران وزخرفة مختلف انواع الاقمشة وغير ذلك :

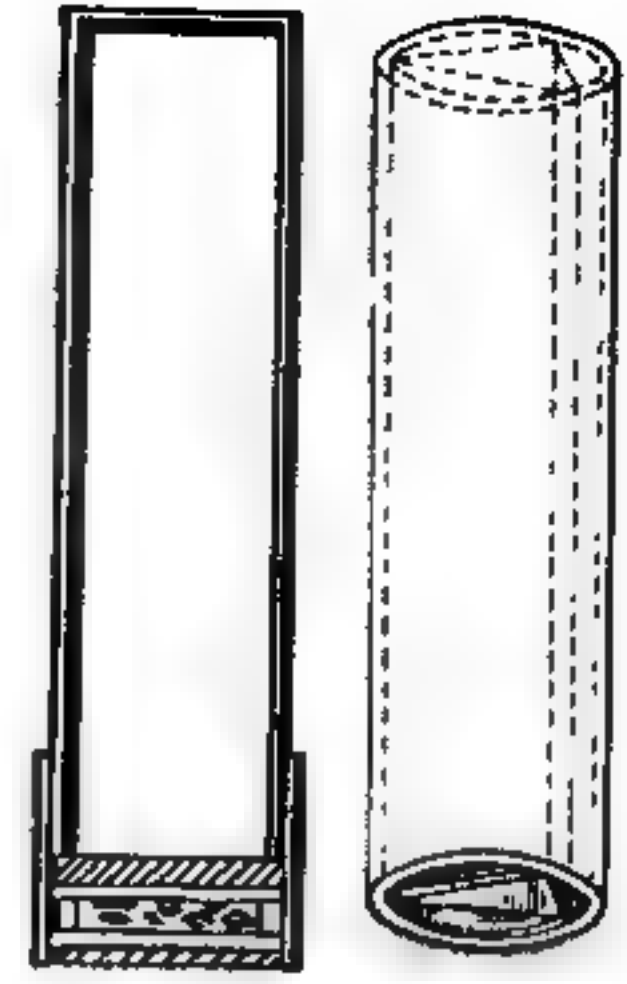
ولكن الكاليدوسكوب اليوم ، لا يشير اهتمام الجماهير ، كما كان عليه الحال
قبل مائة عام ، عندما كان يعتبر شيئا جديدا بعد . فقد نظمت فى وصفه الاشعار
ودبجت المقالات .

لقد اخترع الكاليدوسكوب فى انجلترا عام ١٨١٦ ، ووصل الى روسيا بعد سنة
ونصف من ذلك التاريخ ، حيث قوبل باعجاب شديد . وقد وصفه احد كتاب ذلك



شكل ١٠٤ : عمل مسألة القراب .

العصر بقوله : « يستحيل وصف كل ما تراه في الكاليدوسكوب . ان الاشكال تتغير كلما تتحرك اليد ، وهي لاتشبه بعضها البعض . انها زخارف بديعة ! وكم كان رائعا لو استطعنا نسجها من خيوط الحرير ! ولكن كيف نحصل على مثل هذا الحرير اللامع ؟ وستكون هذه العملية مريحة للغاية اذ انها تنقذ الانسان من الضجر وتلهيه .



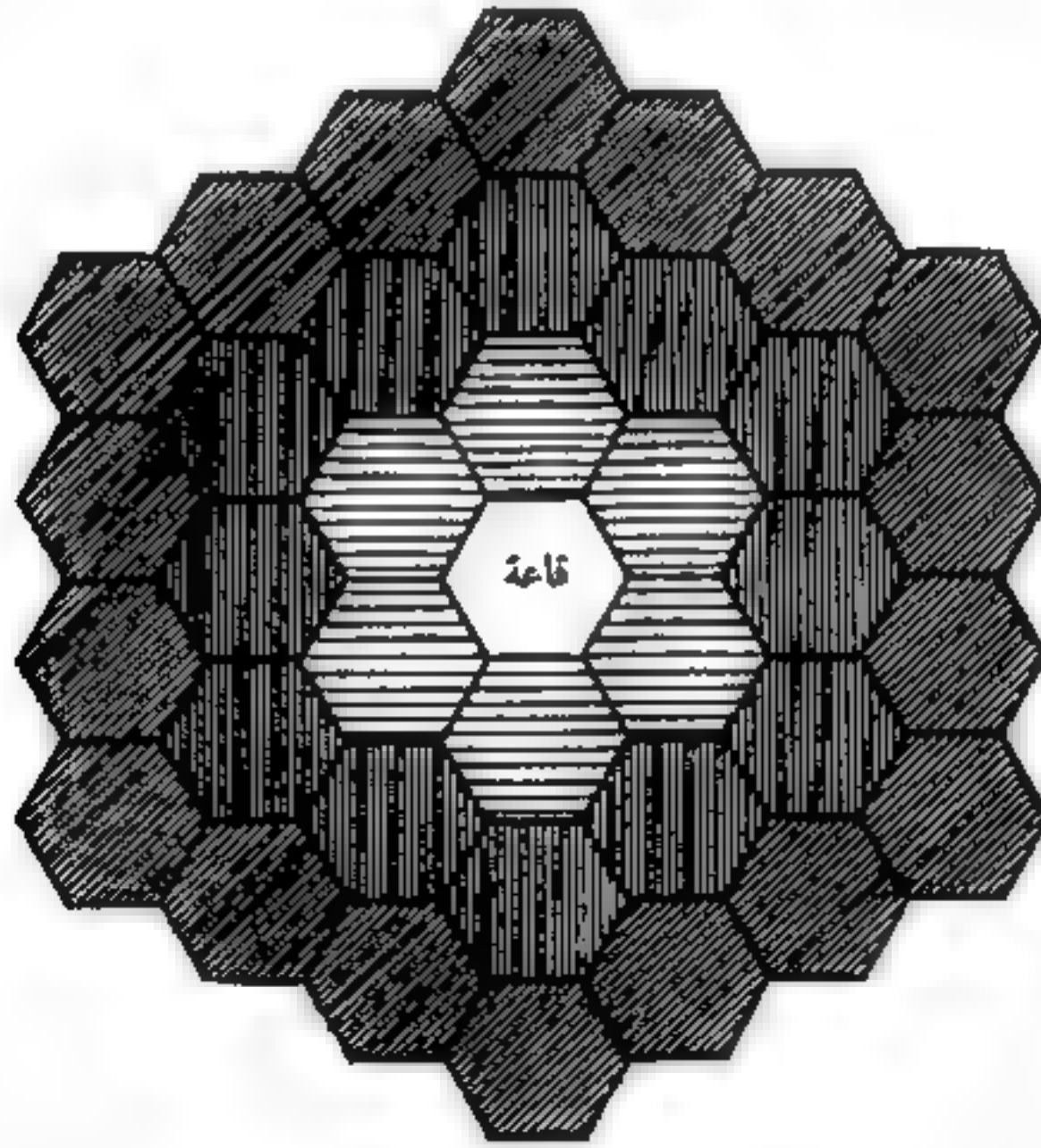
ويؤكد البعض ، بان الكاليدوسكوب كان معروفا في القرن السابع عشر . ولكنه بعد ذلك ظهر بشكل محسن في انجلترا ، ثم انتقل الى فرنسا . وقد اوصى احد الاثرياء الفرنسيين بصنع كاليدوسكوب بلغ ثمنه ٢٠٠٠٠ فرنك . وقد امر ان توضع في داخله الاحجار الكريمة والآلي ، بدل الشظايا الزجاجية المبلونة .

ويروى الكاتب بعد ذلك فكاهة مسلية عن الكاليدوسكوب . واخيرا يختتم مقاله بملاحظة ملنخولية ، تعطى طابعا مميزا جدا لعصر الاقطاع والتخلف : « ان الميكانيكي الامبراطوري روسيني ، المعروف بالآلات البصرية الرائعة ، يصنع الكاليدوسكوبات ويبيعها بثمان قدره ٢٠ روبلا للكاليدوسكوب الواحد . ولاشك في ان الكثيرين من الناس ، سيفضلون شراء الكاليدوسكوب ، على حضور محاضرات الكيمياء والفيزياء ، التي — مع الاسف والدهشة — لم يربح السيد روسيني من ورائها ، اية فائدة لنفسه .

وقد بقي الكاليدوسكوب مدة طويلة . لم يعتبر خلالها اكثر من لعبة مسلية ، ولكن في هذه الايام ، بدأوا يستفيدون منه في وضع الزخارف . وقد اخترع جهاز يمكن بواسطته تصوير الزخارف التي تظهر في الكاليدوسكوب ، وبذلك يمكن رسم النقوش بصورة ميكانيكية .

قصور الاوهام والسراب

ماذا سيكون شعورنا ، اذا اصبحتنا بحجم الشظايا الزجاجية ، ووجدنا انفسنا في داخل الكاليدوسكوب ؟ هناك طريقة للقيام بذلك فعلا ! وقد اتبعت هذه الفرصة الرائعة ، لزوار معرض باريس الدولى فى عام ١٩٠٠ ، حيث اثارت الاعجاب ، القاعة المسماة بـ « قصر الاوهام » . وهى قاعة شبيهة بالكاليدوسكوب ، ولكنها ثابتة . وكانت القاعة سداسية الشكل ، وكل جدار من جدرانها عبارة عن مرآة ضخمة مثالية الصقل . وقد انشئت فى زوايا قاعة المرايا ، زخارف معمارية على هيئة اعمدة وافاريز ، مدغمة مع السقف . وكان الزائر الذى فى داخل القاعة المذكورة ، يرى نفسه تائها فى حشد لا يمكن تصويره ، من الناس الذين يشبهونه ، وقد احاطوا به من كل الجوانب ، حتى

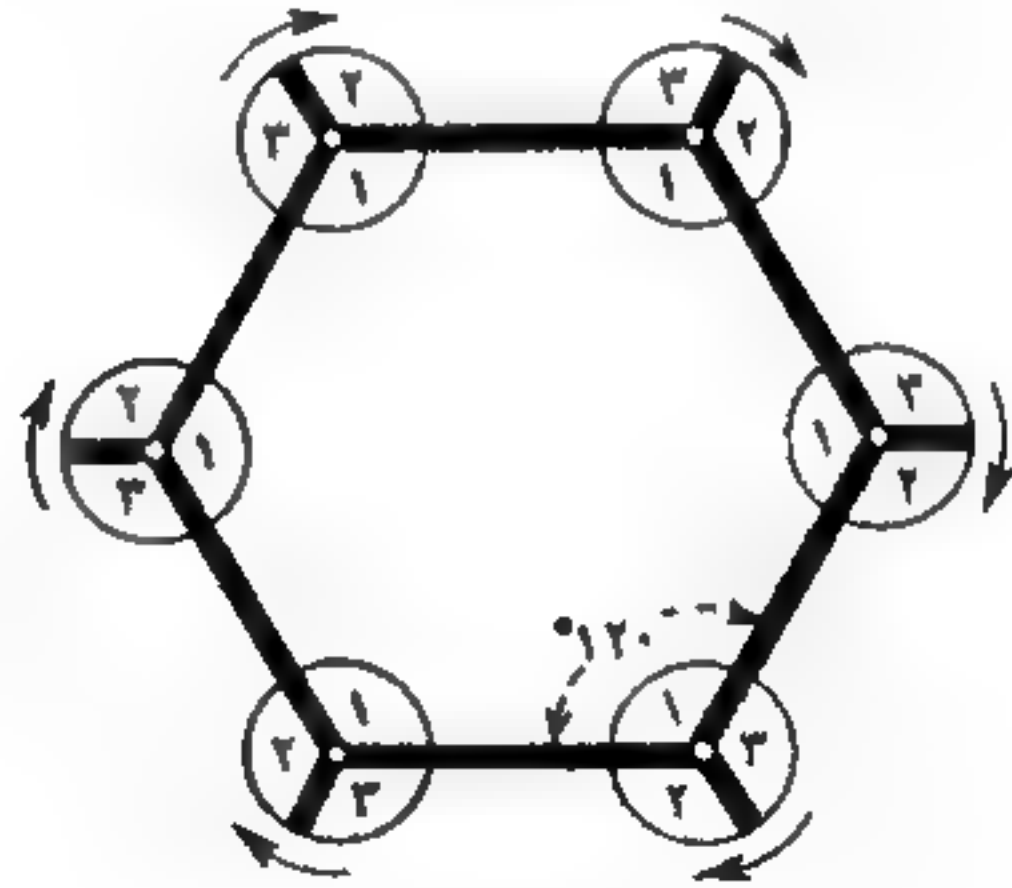


شكل ١٠٦ : ان الانعكاس الثلاثى بجدران القاعة (الصالة) الرئيسية، يولد ٣٦ قاعة (صالة).

امتلات بهم القاعات ذات الاعمدة الممتدة على مدى الرؤية ، فى صف ليست له نهاية .



ان القاعات المظلة بخطوط افقية (شكل ١٠٦) ، تتكون نتيجة للانعكاس مرة واحدة ، والقاعات المظلة بخطوط عمودية على الخطوط الاولى ، اى القاعات الاثنى عشرة ، تتكون نتيجة للانعكاس مرتين . وتضاف الى كل ذلك ، ١٨ قاعة اخرى ، تتكون نتيجة للانعكاس ثلاث مرات (مظلة بخطوط مائلة) ، وتتضاعف القاعات مع كل انعكاس ، ويعتمد عددها الكلى على جودة صقل وموازاة المرايا ، الموجودة على الوجوه المتقابلة للقاعة الموشورية . وامكن فى الواقع ، رؤية قاعات اخرى ، متكونة نتيجة للانعكاس الثانى عشر ، اى امكن رؤية ٦٤٨ قاعة فقط .



شكل ١٠٧

شكل ١٠٨ : سر « قصر

الاهام » .

ولا بد لكل من تعرّف على قوانين انعكاس الضوء ، ان يعلم سبب الظاهرة المذكورة اعلاه : توجد هناك ثلاثة ازواج من المرايا المتوازية ، وقد وضعت بزاوية ميل معينة ، ولذلك فليس من العجيب ان تعطى عددا كبيرا من الانعكاسات . والاكثر طرافة من ذلك ، هي تلك المؤثرات البصرية ، التي تم التوصل اليها في معرض باريس ، في داخل ما يسمى بـ « قصر السراب » . ان مصممي هذا « القصر » اضافوا الى الانعكاسات اللامتناهية ، عاملا آخر ، هو تغيير المنظر برّمته تغييرا سريعا جدا . وبهذا فكأنّهم قد انشأوا كاليديوسكوبا متحركا ضخما ، مع وجود الزوار في داخله .

وقد تم تغيير المنظر في « قصر السراب » ، بالشكل التالي : قصت المرايا طوليا على مسافة قليلة من الضلع ، ثم جعلت الزاوية الناتجة من ذلك ، تدور على محور ، بحيث يمكن استبدالها بزاوية اخرى . ويتضح من الشكل ١٠٧ ، انه بالامكان القيام بتبديل الزاوية ثلاث مرات ، طبقا للزوايا ١ و ٢ و ٣ . والآن لنفرض ان كافة الزوايا الموجودة تحت رقم ١ ، تعطى منظر غابة استوائية ، والزوايا الموجودة تحت رقم ٢ ، تعطى منظر قاعة في قصر عربي ، والزوايا الموجودة تحت رقم ٣ ، تعطى منظر معبد هندي . وبحركة واحدة للآلية المخفية ، التي تقوم بتدوير الزوايا وتغييرها ، يتحول المنظر من غابة استوائية الى معبد هندي ، او الى قصر عربي . ان السر بأكمله ، يكمن هنا في ظاهرة فيزيائية ، بسيطة جدا ، هي انعكاس اشعة الضوء .

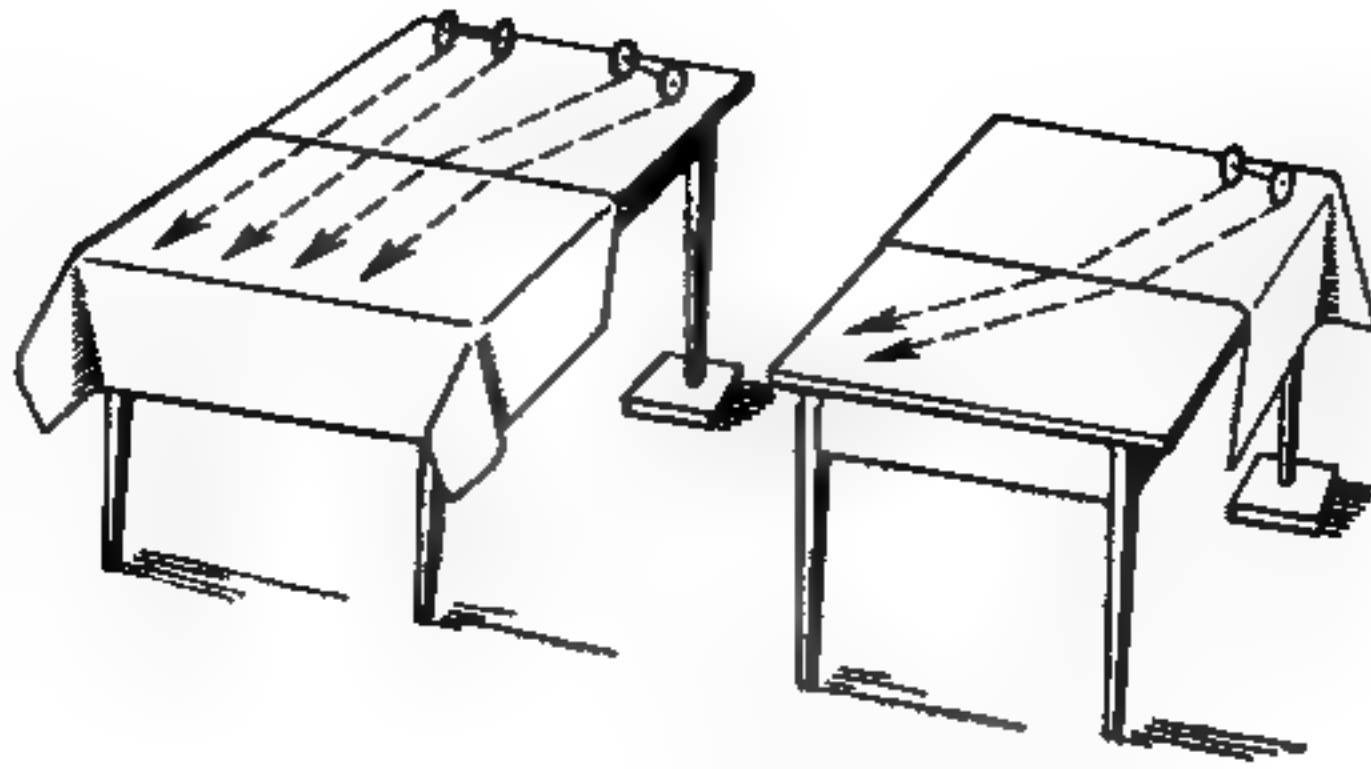
لماذا وكيف ينكسر الضوء

ان انكسار الضوء عند انتقاله من وسط الى آخر ، يبدو لكثير من الناس ، بمثابة قلب غريب من تقلبات الطبيعة . انهم لا يفهمون لماذا لا يحافظ الضوء في الوسط الجديد ، على اتجاهه المستقيم ، ويختار طريقا منكسرا . اذا كان القارئ من هؤلاء الناس ، فانه سيسر اذا قلنا له ، بان شعاع الضوء يسلك في الواقع ، نفس سلوك فرقة من الجنود المشاة ، عندما تجتاز الحد الفاصل بين ارض منبسطة واخرى وعرة . واليكم

ما يقوله في هذا الصدد ، العالم الفلكي والفيزيائي الشهير جون جيرشال ، وهو من علماء القرن الماضي .

« لتتصور فرقة من الجنود السائرين على ارض مقسمة الى قسمين بواسطة خط حدود مستقيم ، بحيث يكون القسم الاول منبسطا ومريحا بالنسبة للسير ، والقسم الثاني وعرا ، لا يمكن السير عليه بنفس سرعة السير على القسم الاول . ولنفرض بالاضافة الى ما سبق ، ان مقدمة الفرقة تشكل زاوية مع خط الحدود الموجود بين القسمين ، بحيث لا يصل الجنود كلهم في نفس الوقت الى ذلك الخط ، ولكنهم يصلونه الواحد بعد الآخر على التوالي . وعندئذ ، بعبور كل جندي لخط الحدود ، سيجد نفسه في ارض لا يمكنه السير عليها ، بنفس سرعة سيره على الارض السابقة . وليس في استطاعته بعد الآن السير على خط واحد مع القسم الباقي من الصف ، الموجود على الارض السهلة ، وسوف يتخلف عنه اكثر فاكثر بمرور الوقت . وبما ان كل جندي يصل الحدود ، يشعر بنفس الصعوبة في السير ، واذا فرضنا ان الجنود لا يخلون بنظام الصف ولا يتبعثرون ، بل سيستمرون في سيرهم بطابور متظم ، فان كل ذلك القسم من الطابور ، الذي اجتاز خط الحدود ، سوف يتخلف حتما عن القسم الباقي ، وبذلك يشكل معه زاوية منفرجة في نقطة تخطي الحدود . وبما ان ضرورة سير الجنود سيرا منتظما ، دون ان يقطع احدهم طريق الآخر ، تحتم على كل منهم ان يخطو الى الامام بزاوية قائمة مع الجبهة الجديدة ، فان الطريق الذي يقطعه عندما يعبر الحدود ، سيكون اولا عموديا على الجبهة الجديدة ، وثانيا لكانت علاقته بذلك الطريق الذي كان سيقطعه في حالة عدم وجود ابطاء ، كعلاقة السرعة الجديدة بالسرعة السابقة .

ونستطيع بصورة مصغرة ، القيام بتجربة توضح انكسار الضوء ، وذلك على المنضدة الموجودة امامنا . نغطي نصف المنضدة بغطاء (شكل ١٠٩) . وبامالة المنضدة قليلا ، ندحرج العجلتين الصغيرتين المربوطتين بمحور واحد (يمكن استخدام عجلات القاطرة الصغيرة التي يلهو بها الاطفال) .



شكل ١٠٩ : تجربة توضح ظاهرة انكسار الضوء .

وإذا كان اتجاه حركة العجلتين ، يشكل زاوية قائمة مع حافة الغطاء ، فلا يحدث انكسار في الطريق . ويكون لدينا في هذه الحالة ، شرح عملي لقاعدة بصرية ، وهي : ان الشعاع العمودي على مستوى فصل (تقسيم) الاوساط ، لا ينكسر . وعندما يكون اتجاه الحركة ، مائلا بالنسبة لحافة الغطاء ، فان طريق العجلتين ينكسر عند تلك الحافة ، اى عند الحدود بين الاوساط التى تكون سرعة الحركة فيها مختلفة . ومن السهل ان نلاحظ ، انه عند الانتقال من قسم المنضدة ، الذى تكون سرعة الحركة فيه اكبر (القسم غير المغطى) ، الى القسم الذى تكون السرعة فيه اقل (القسم المغطى) ، يقترب اتجاه الطريق (الشعاع) من « عمود السقوط » . وعندما تكون الحالة على عكس ذلك ، يبتعد اتجاه الطريق عن عمود السقوط .

ويمكننا ان نستمد من ذلك ، دلالة تكشف لنا حقيقة الظاهرة المذكورة . وهى ان الانكسار يعتمد على اختلاف سرعة الضوء فى كلا الوسيطين . فكلما زاد اختلاف السرعة ، كلما زاد الانكسار . ان ما يسمى بـ « دليل الانكسار » ، الذى يبين مقدار انكسار الاشعة ، ما هو الا عبارة عن النسبة بين تلك السرعة . وعندما نقرأ بان دليل الانكسار عند الانتقال من الهواء الى الماء ، يساوى $\frac{4}{3}$ ، فاننا نعلم بذلك ان سرعة الضوء فى الهواء اكبر من سرعته فى الماء بمقدار ١.٣٣ مرة تقريبا .

وتوجد بهذا الصدد ، خاصية تعليمية اخرى لانتشار الضوء . اذا كان شعاع الضوء عند انعكاسه ، يتبع اقصر الطرق ، فانه عند انكساره ، يختار اسرع الطرق : اذ لا يوجد اى اتجاه آخر ، يؤدي بالشعاع الى المكان المعين ، اسرع من ذلك الطريق (الاتجاه) المنكسر .

متى يقطع الطريق الطويل اسرع مما يقطع الطريق القصير ؟

هل من المعقول ان يؤدي الطريق المنكسر ، الى الهدف ، اسرع مما يؤدي اليه الطريق المستقيم ؟ نعم ، ان ذلك ممكن فى الحالات التى تختلف فيها سرعة الحركة فى اقسام الطريق المختلفة . لتذكر ما يفعله سكان القرية الواقعة بين محطتين من محطات السكة الحديدية ، بالقرب من احدهما . فلكى يصلوا بسرعة الى المحطة البعيدة ، يمشون الحصان ويسرون اولاً فى الجهة المعاكسة ، اى باتجاه المحطة القريبة ، ومن هناك يستقلون القطار ويتوجهون الى المحل المطلوب . وبطبيعة الحال ، كان اقصر الطرق بالنسبة اليهم هو الطريق المستقيم الذى يؤدي بهم مباشرة الى ذلك المكان وهم على صهوة الحصان . ولكنهم يفضلون الطريق الأطول ، الذى يقطعونه على صهوة الحصان وفى القطار ، لانه يؤدي بسرعة الى المحل المطلوب .

لنبحث الآن مثالا آخر . يجب على احد الفرسان ان يحمل رسالة من النقطة أ ويوصلها الى مقر القائد ، الواقع فى النقطة ج (شكل ١١٠) وتفصله عن مقر القائد ارض رملية ومرج ، يوجد بينهما حد فاصل هو الخط المستقيم هـ ع . ان الحصان يتحرك فى الارض الرملية ابطأ بمرتين ، مما يتحرك فى المرج . والآن ، ما هو الطريق الذى يجب ان يختاره الفارس ، لكى يوصل الرسالة الى القائد باسرع وقت ممكن ؟

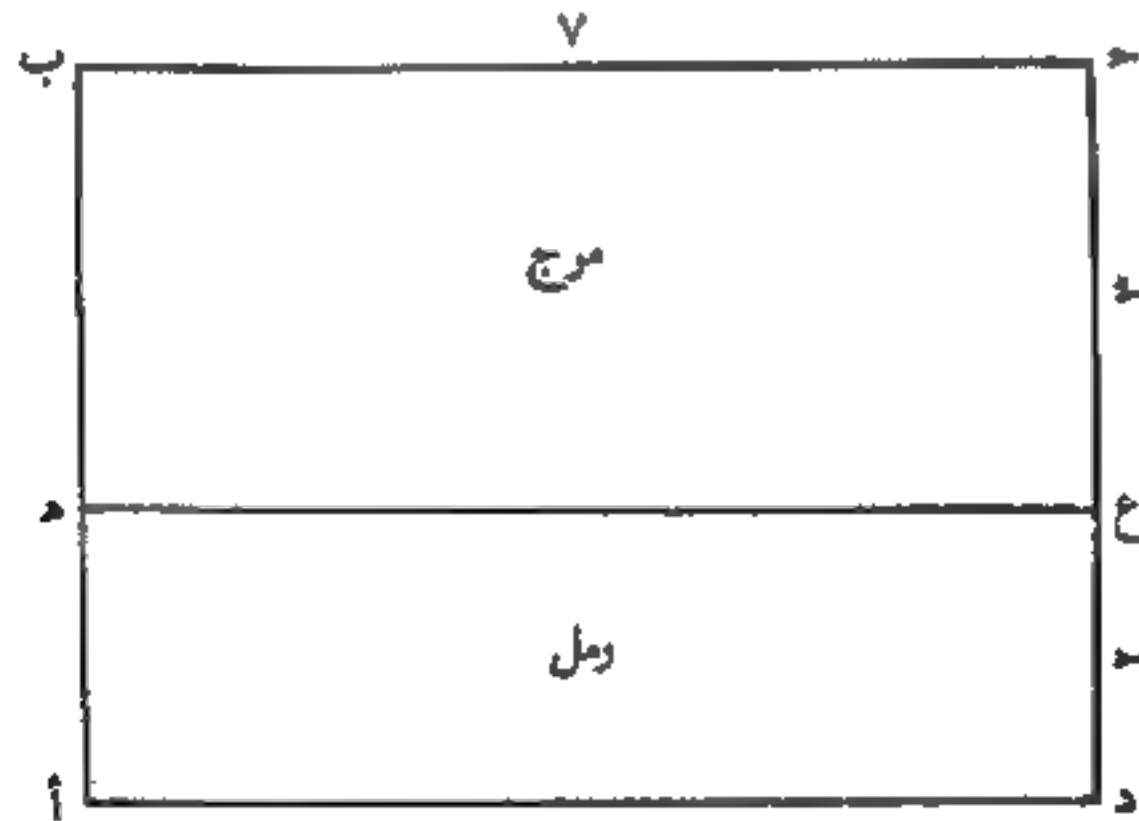
يبدو لاول وهلة ، ان اقصر الطرق ، هو الخط المستقيم الواصل بين النقطتين أ و ج . ولكن هذا غير صحيح اطلاقاً ، ولا اظن ان هناك فارساً يقوم باختيار مثل هذا الطريق . ان الحركة البطيئة فى الرمل ، تحمله على التفكير الصحيح فى اختصار ذلك القسم من الطريق ، الذى يجعله يسير ببطء ، وذلك بقطع الارض الرملية بخط سير

اقل انحرافا ، وبذلك يطول القسم الثانى من الطريق - عبر المرج . ولما كان السير فى المرج اسرع بمرتين من السير على الارض الرملية ، فان طول الطريق لا يفوق فى الاهمية ، الفائدة التى تنجم عن ذلك ، وبالنتيجة ، يتم قطع الطريق باقل فترة زمنية . وبعبارة اخرى ، يجب ان ينكسر طريق الفارس ، عند الحد الفاصل بين الارض الرملية والمرج ، وذلك بحيث تكون الزاوية الحاصلة بين طريق المرج والمستقيم العمودى على خط الحدود ، اكبر من الزاوية الحاصلة بين الطريق الرملى والعمود المذكور .

وباستطاعة من يعرف علم الهندسة المستوية ، وخاصة نظرية فيثاغورس ، التحقق من ان الطريق المستقيم أ ج ، ليس فى الحقيقة اسرع الطرق ، وانه فى حالة ابعاد الارض والمسافات التى لدينا فى هذا المثال ، يمكن الوصول الى الهدف باسرع ما يمكن ، اذا سلطنا الطريق المنكسر أ ه ج (شكل ١١١) .

وقد اوضحنا فى الشكل ١١٠ ، ان عرض قطعة الارض الرملية هو ٢ كم ، وعرض المرج ٣ كم ، اما المسافة ب ج فتساوى ٧ كم . عندئذ يكون طول أ ج كله (شكل ١١١) ، حسب نظرية فيثاغورس ، مساويا لما يلى :

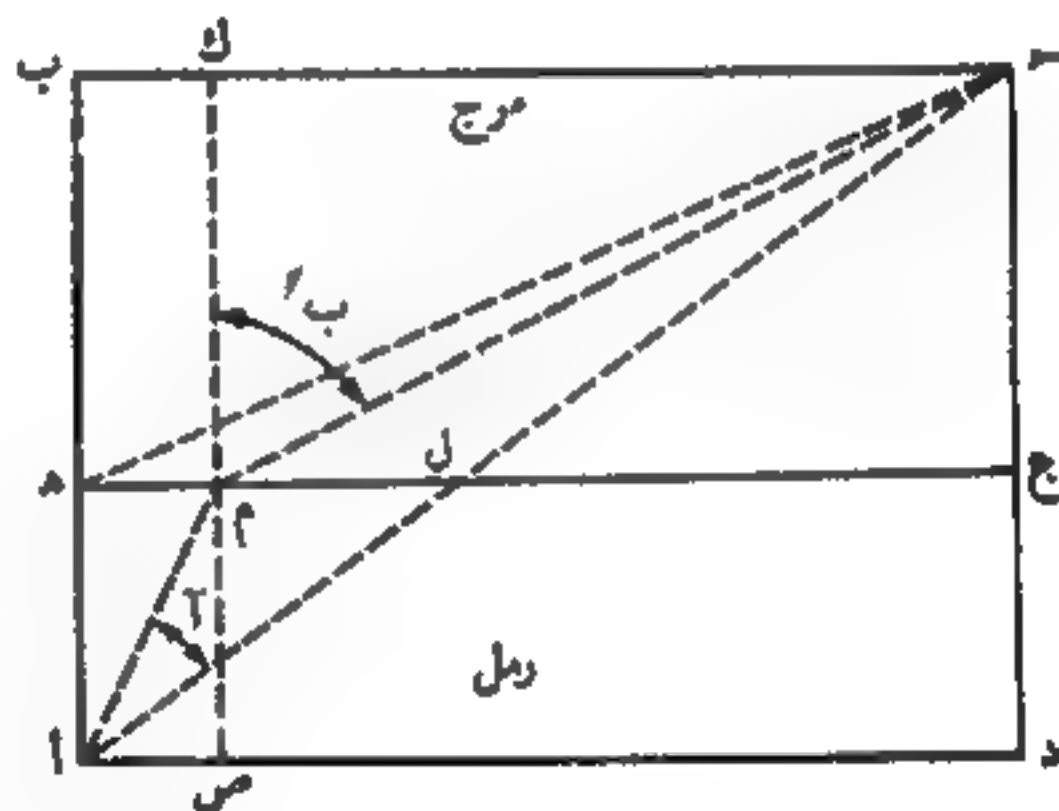
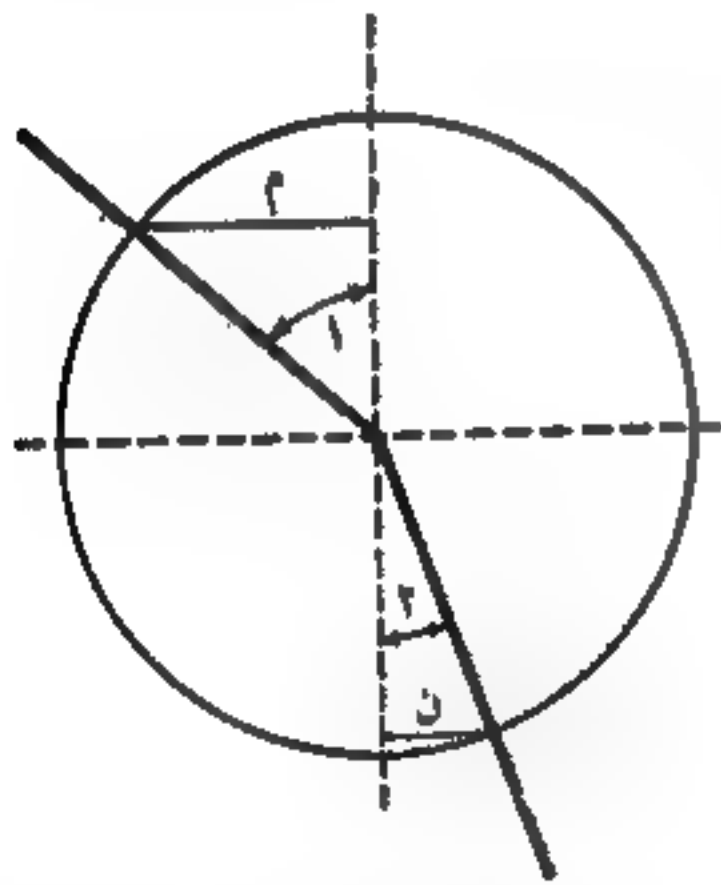
$$٨,٦٠ = \sqrt{٧٤} = \sqrt{٢٧ + ٢٥} \text{ كم}$$



شكل ١١٠ : مسألة الفارس . ايجاد اقصر طريق من أ الى ج .

اما القسم أـل - الطريق الرملى - فيساوى كما يظهر بوضوح $\frac{2}{3}$ من قيمة أـج ،
 اى يساوى ٣ر٤٤ كم . ولما كانت الحركة على الرمل ابطأ بمرتين من الحركة فى المرج ،
 فان مسافة ٣ر٤٤ كم من الطريق الرملى ، تكافئ من حيث الوقت اللازم ، مسافة قدرها
 ٦ر٨٨ كم من طريق المرج . وبالتالي ، فان طول الطريق المختلط كله ، المقاس
 بالمستقيم أـج ، الذى يبلغ طوله ٨ر٦٠ كم ، يكافئ مسافة قدرها ١٢ر٠٤ كم من
 طريق المرج .

والآن نقوم بتحويل الطريق المنكسر أـهـج ، الى المقدار الذى يكافئه من طريق
 المرج . ان القسم اـهـ = ٢ كم ، ويكافئ ٤ كم من طريق المرج . والقسم هـج =
 $\sqrt{2^2 + 3^2} = \sqrt{13} = ٣.٦$ كم . ومجموع الطريق المنكسر أـهـج باكماله ، يكافئ المقدار
 $٤ + ٧.٦ = ١١.٦$ كم .



شكل ١١١ : حل مسألة الفارس . ان اقصر
 طريق هو أـمـج .

شكل ١١٢ : ما هو جيب
 الزاوية ؟ ان النسبة بين م ون نصف القطر ،
 تمثل جيب الزاوية (١) ، والنسبة
 بين ن ون نصف القطر ، تمثل جيب
 الزاوية (٢) .

وهكذا ، فان الطريق المستقيم « القصير » ، يكافئ مسافة ١٢ كم ، تقطع على طريق المرج ، والطريق المنكسر « الطويل » ، يكافئ مسافة ١١ر٦ كم فقط ، من نفس طريق المرج . وكما يتضح مما سبق ، فان الطريق « الطويل » يختصر لنا مسافة قدرها ١٢ - ١١ر٦ = ٠ر٤ كم ! ولكننا لم نشر بعد الى اسرع الطرق . ان اسرع الطرق ، كما جاء فى النظرية ، هو ذلك الطريق (سنلجأ هنا الى علم حساب المثلثات) الذى تكون نسبة جيب الزاوية ب الى جيب الزاوية آ ، عنده ، كنسبة السرعة على طريق المرج الى السرعة على الطريق الرملى ، اى كنسبة ١:٢ . وبعبارة اخرى ، يجب اختيار الاتجاه ، بحيث يكون جيب الزاوية ب ، اكبر من جيب الزاوية آ بمرتين . ولأجل ذلك ، يجب اجتياز الحد الفاصل بين قطعتى الارض فى نقطة مثل م ، تقع على مسافة ١ كم من النقطة هـ . عندئذ يكون بالفعل :

$$\text{جاء} = \frac{1}{\sqrt{2_1 + 1}} \quad , \quad \text{جاء} = \frac{1}{\sqrt{2_1 + 2_2}}$$

وتكون النسبة بينهما كما يلى :

$$2 = \frac{1}{\sqrt{2_1 + 1}} : \frac{1}{\sqrt{2_1 + 2_2}} = \frac{1}{\sqrt{2_1}} : \frac{1}{\sqrt{2_1 + 2_2}} = \frac{\text{جاء}}{\text{جاء}}$$

اى مثل النسبة بين سرعتين بالضبط .

والآن ما هو طول الطريق فى هذه الحالة ، بعد تحويله الى ما يكافئه من طريق المرج ؟ ان طول أ م = $\sqrt{2_1 + 2_2}$ ، وهذا المقدار يكافئ مسافة ٤ر٤٧ كم من طريق المرج . م ج = $\sqrt{2_1 + 2_2} = ٦ر٤٩$ كم . وطول الطريق باكملة يساوى ٤ر٤٧ + ٦ر٤٩ = ١٠ر٩٦ اى اقصر من الطريق المستقيم ، الذى يبلغ طوله ١٢ر٠٤ كم . بمقدار ١ر٠٨ كم .

وهكذا تتضح الفائدة التى نجنىها فى مثل هذه الظروف ، نتيجة لانكسار الطريق . وشعاع الضوء ، يختار بالضبط مثل هذا الطريق السريع لان قانون انكسار الضوء ، يحقق

متطلبات الحل الرياضى للمسألة تحقيقا تاما : ان النسبة بين جيب زاوية الانكسار وجيب زاوية السقوط ، مثل النسبة بين سرعة الضوء فى الوسط الجديد ، وسرعته فى الوسط الذى خرج منه ؛ ومن ناحية اخرى ، فان هذه النسبة تساوى دليل انكسار الضوء فى الوسطين المذكورين .

واذا جمعنا بين كل من خواص الانعكاس وخواص الانكسار ، وصغناها فى قاعدة واحدة ، لتمكنا من القول بان شعاع الضوء يسلك فى كافة الحالات ، اسرع الطرق ، اى يخضع للقاعدة التى يسميها الفيزيائيون ؛ « قاعدة اسرع وصول » وهى (قاعدة فيرم) .

واذا كان الوسط غير متجانس ، وله قابلية كسر متغيرة تدريجيا ، مثلا كالجو الذى نعيش فيه ، ففى مثل هذه الحالة يحدث اسرع وصول تماما . وهذا يفسر لنا سبب ذلك الانحناء البسيط لاشعة الضوء المنبعثة من النجوم ، عند مرورها فى جو الارض ، ويطلق الفلكيون على هذه الظاهرة اسم « الانكسار الجوى » . وفى طبقات الجو ، التى تزداد كثافتها تدريجيا كلما اقتربنا من سطح الارض ، ينحني شعاع الضوء ، بحيث يتجه تقعره نحو سطح الارض . ويبقى شعاع الضوء عندئذ ، مدة اطول فى الطبقات العليا ، التى تعرقل حركته بشكل ضئيل ، ويقضى مدة اقل فى الطبقات الواطئة « البطيئة » . واخيرا ، يصل الى هدفه ، اسرع من وصوله اليه ، فيما لو سلك الطريق المستقيم تماما .

ان قاعدة اسرع وصول (قاعدة فيرم) ، لا تنطبق على الضوء وحده فقط ، بل كذلك تنطبق تماما على انتشار الصوت ، وبصورة عامة على كافة الحركات الموجية ، مهما كانت طبيعة تلك الموجات .

ان القارئ يرغب بلاشك ، فى ان يعرف ما هو تفسير خاصية الحركات الموجية هذه . ولذلك اقدم هنا بعض ما قاله بهذا الخصوص ، العالم الفيزيائى المعاصر شريدنجر * .

* من التقرير الذى قراه فى مدينة ستوكهولم ، عند تسلمه جائزة نوبل عام ١٩٣٣ .

وينطلق في ذلك من المثال المعروف لدينا حول سير جنود المشاة ، ويقصد به حالة مرور شعاع الضوء ، في وسط تتغير كثافته بالتدرج . يقول شريدنجر :
« لنفرض انه لاجل المحافظة على خط انتظام الجبهة المضبوط ، تم وصل الجنود بعمود طويل ، يمسك به كل جندي بقوة . وامر الجنود بالركض بأسرع ما يمكن ! فاذا كانت طبيعة الارض تتغير بالتدرج ، من نقطة الى اخرى ، ففي بادئ الامر سيتحرك الجناح الايمن مثلا اسرع من الجناح الايسر ، وبعد ذلك سيتحرك الجناح الايسر اسرع من الجناح الايمن ، وبذلك سيتحول خط انتظام الجبهة عن وضعيته السابقة ، من تلقاء نفسه . ونلاحظ عند ذلك ، ان الطريق الذي قطعه الجنود ، ليس مستقيما بل منحنيا . ومن المفهوم ان هذا الطريق ينطبق تماما مع اقصر طريق ، من حيث الزمن اللازم للوصول الى النقطة المعينة عند وجود خواص الارض المذكورة اعلاه ، وذلك لان كل جندي قد حاول جهده ان يركض بأسرع ما يمكن » .

الشمس تشعل النار

لا شك في ان القارئ يعرف كيف استطاع ابطال قصة جول فيرن « الجزيرة الغامضة » اثناء وجودهم على جزيرة غير مأهولة ، ان يشعلوا النار بديون عيدان ثقاب او زناد . ان الصاعقة التي احترقت الشجرة ، ساعدت قبل ذلك الرحالة روبنسن كروزو على اشعال النار ، اما روبنسن كروزو الحديث في رواية جول فيرن ، فلم تساعد الصدفة ، بل ساعده دهاء المهندس الخبير ومعرفته الجيدة لقوانين الفيزياء . ولعل القارئ يتذكر كيف دهش البحار الساذج بينكروف ، عندما عاد من الصيد ورأى المهندس والصحفي وقد جلسا امام نار مشبوبة ، وقال متسائلا :

« - من اشعل النار ؟

فاجابه سييليت :

- الشمس .

ولم يمزح الصحفي ، فالشمس بالفعل هي التي اشعلت النار ، التي ادهشت البحار .
انه لم يكذب يصدق ما رآه بأمر عينيه ، اذ اصابته الدهشة الى درجة لم يستطع معها ان يستوضح
من المهندس جليلة الامر . وسأل جيربرت المهندس قائلا :
— هل يعنى ذلك ان بحوزتكم عدسة حارقة ؟

فاجابه المهندس :

— لا ، ولكنى اعددتها .

ثم اراه كيف فعل ذلك . كان هذا عبارة عن زجاجتين نزعتهما المهندس من
ساعته وساعة صديقه سيلايت . ثم لحمهما مع بعض من محيطيهما بواسطة الطين ، بعد
ان ملأهما بالماء ، وبهذا الشكل تكونت لديه عدسة حارقة حقيقية ، تمكن بواسطتها
من اشعال النار ، وذلك بتركيز اشعة الشمس على رقعة صغيرة من الطحلب اليابس ،
الامر الذي أدى الى اشتعاله بسرعة .

واعتقد ان القارئ يريد ان يعلم لماذا يجب ملء الفراغ الموجود بين زجاجتي
الساعتين ، بالماء ، وهل ان العدسة المحدبة الوجهين ، المملوءة بالهواء ، لا تركز
اشعة الشمس ؟

ان الجواب هو بالضبط لا . ان زجاجة الساعة محاطة بسطحين (متحدى المركز)
متوازيين — خارجي وداخلي . ومعروف من الفيزياء ، ان الاشعة عند مرورها بوسط
محاط بمثل هذين السطحين ، فانها لا تغير اتجاهها تقريبا . ثم يمرورها خلال الزجاجة
الاخري المشابهة للاولى ، فانها هنا ايضا لا تنحرف ، وبالتالي لا تتجمع في البؤرة .
ولكى نركز الاشعة في نقطة واحدة ، لا بد من ملء الفراغ الموجود بين الزجاجتين ،
باحدى المواد الشفافة ، التي تكسر الاشعة ، اشد مما يكسرها الهواء . وهكذا
فعل المهندس فى قصة جول فيرن .

ان الدورق الزجاجي المملوء بالماء ، اذا كان شكله كرويا ، يمكن ايضا
ان يستخدم بمثابة عدسة حارقة . وقد عرف ذلك اسلافنا القدماء ، الذين لاحظوا ايضا

ان الماء عند ذلك يبقى باردا . وقد حدث ان تسبب دو رق الماء الزجاجى ، الموضوع على النافذة المفتوحة ، فى حرق الستائر او غطاء السفرة او سطح المنضدة .

ان تلك القناني الزجاجية الكروية الضخمة ، المملوءة بالماء الملون ، والتي كانت توضع سابقا فى واجهات الصيدليات لتزيينها ، كادت تكون فى بعض الاحيان ، سببا لكوارث حقيقية ، لانها تؤدى الى احتراق المواد القابلة للاشتعال ، الموجودة بالقرب منها . ويمكن بواسطة دورق زجاجى كروى صغير الحجم ، مملوء بالماء ، ان نجعل الماء المصبوب على زجاجة الساعة ، يبدأ بالغليان : وللقيام بذلك نحتاج فقط الى دورق زجاجى كروى قطره ١٢ سم . وعندما يبلغ البعد البؤرى ١٥ سم (تكون البؤرة عندئذ قريبة جدا من الدورق) ، تصل درجة الحرارة الناتجة ، الى ١٢٠° مئوية . ويمكن بسهولة اشعال السيجارة بواسطة دورق الماء ، مثل اشعالها بواسطة العدسة الحارقة . ولكن تجدر الاشارة الى ان الحرق بواسطة العدسات المائية ، اضعف بكثير من الحرق بواسطة العدسات الزجاجية . وهذا يعود الى سببين ، الاول هو ان انكسار الشعاع فى الماء ، اقل بكثير من انكساره فى الزجاج ؛ والسبب الثانى ، هو ان الماء يمتص الى درجة كبيرة ، الاشعة دون الحمراء ، التى تلعب دورا هاما فى تسخين الاجسام ومن الطريف ، ان الحرق بواسطة العدسات الحارقة ، كان معروفا لدى قدماء الاغريق ، قبل اختراع النظارات والمناظير باكثر من الف سنة . وقد جاء ذكر العدسات الحارقة على لسان اريستوفان الاغريقى فى مسرحيته الهزلية المشهورة « الغمام » . يعرض الفيلسوف سقراط المسألة التالية على سترينبياد :

« اذا كتب شخص سندا ، يلزمك بموجبه بدفع خمس وزنات من الذهب ، فكيف تستطيع التخلص منه ؟

سترينبياد - لقد وجدت طريقة للتخلص من ذلك السند ، وهى طريقة ستجعلك تعترف بانها نادرة جدا ! لقد رأيت بالطبع ، فى الصيدليات ، حجر شفاف رائع يشعلون بواسطته النار ؟

سقراط - العدسة الحارقة ؟

ستريتياد — نعم بالضبط .

سقراط — وماذا بعد ؟ .

ستريتياد — عندما يكون كاتب السندات منهمكا في الكتابة ، سأقف وراءه وأوجه أشعة الشمس نحو السند .. واجعله ينوب برمته .. » .
وبهذه المناسبة نذكر القارئ ، بأن الاغريق في عهد اريستوفان ، كانوا يكتبون على الواح رقيقة مدهونة بالشمع ، تنوب بسهولة عند تعرضها للحرارة .

اشعال النار بواسطة الجليد

ان الجليد عندما يكون شفافا ، يمكن ان يستخدم لصنع العدسات المحدبة الوجهين ، وبالتالي لاشعال النار. وفي هذه الحالة، عندما يقوم الجليد بكسر اشعة الشمس ، فانه لا يسخن بالذات ولا ينوب. ان دليل الانكسار في الجليد، اقل بقليل من دليل الانكسار في الماء ، واذا امكن كما رأينا سابقا ، اشعال النار بواسطة كرة زجاجية مملوءة بالماء . يمكننا اذن ان نفعل ذلك بواسطة عدسة حارقة من الجليد . فقد ساعدت العدسة الجليدية الحارقة الدكتور كلاوبوني — في قصة جول فيرن « رحلات الكابتن هاتيراس » — على اشعال النار ، عندما فقد السياح الزناد ، ووجدوا انفسهم بلا نار ، في جو قارص البرد حيث بلغت درجة الحرارة — ٤٨° مئوية .

« قال هاتيراس مخاطبا الدكتور :

— انها نكبة .

فاجابه الدكتور :

— نعم

— ولا يوجد لدينا حتى انبوب بصرى ، لكي نخلع عدسته ونشعل بواسطتها النار .

فاجابه الدكتور :

— اعر ف ذلك ، وانا متأسف جدا لهذا الامر ، اذ ان اشعة الشمس قوية ، بما فيه الكفاية لاشعال الصوفان * .

فرد هاتيراس قائلا :

— سنضطر الى اكل لحم الدب النىء للتغلب على الجوع ؟

فقال الدكتور متأملا :

— نعم ، عند الحاجة القصوى . ولكن لماذا لا ...



شكل ١١٣ : « دكتور الدكتور اشعة الشمس على الصوفان » .

* الصوفان مادة اسفنجية تستخدم فى الجراحة ولاخراج النار من حجر القذح (المعرب)

فأستدرجه هاتيراس قائلا :

— ماذا خطر ببالك ؟

— لقد اتنى فكرة ..

فهتف رئيس النوتية متعجبا :

— فكرة ؟ .. اذا انتك فكرة ، فذلك يعنى انك ستقذنا !

فاجابه الدكتور مترددا :

— لست ادري الى اى مدى ستحقق فكرتى .

فسأله هاتيراس :

— وما هى فكرتك ؟

— اننا لا نملك عدسة ، ولكتنا سوف نصنعها الآن .

فسأله رئيس النوتية بفضول :

— وكيف سنعمل ذلك ؟

— سوف ننحتها من قطعة من الجليد .

— وهل تعتقد ان ...

— ولم لا ؟ فكل ما نحتاجه هو تجميع اشعة الشمس فى نقطة واحدة ، ولأجل

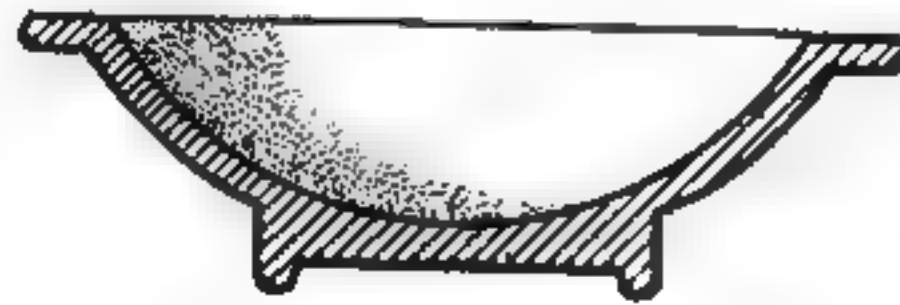
ذلك ، يمكن الاستعاضة عن البلور بالجليد . ولكتنى افضل قطعة الجليد المكونة من

الماء العذب ، لانها اقوى واكثر صفاء .

وهنا قال رئيس النوتية وهو يشير الى كتلة جليدية تقع على بعد مائة خطوة منهم :

— ان هذه الكتلة الجليدية ، اذا لم اكن مخطئا ، هى التى تفى بحاجتك بالضبط ،

وذلك حسبما يظهر من لونها .



شكل ١١٤ : فنجان يستخدم لصنع العلسات الجليدية .

— انت على حق ، تناول فأسك . هيا معي ايها الاصدقاء .

وتوجه الرجال الثلاثة الى الكتلة الجليدية المشار اليها . وقد ظهر بالفعل ، ان الجليد مكون من الماء العذب .

واوصى الدكتور باقتطاع قطعة من الجليد ، يبلغ قطرها قدما واحدا ، ثم بدأ يهذبها بالفأس . وبعد ذلك سواها بالسكين ، واخيرا صقلها تدريجيا باليد . وتكونت لديه عدسة شفافة ، كأنها مصنوعة من انقى البلّور . وكانت الشمس ساطعة تماما ، عندما عرض الدكتور عدسته لاشعتها ، وركزها على الصوفان . وبعد عدة ثوان ، اشتعلت النار في الاخير .

ان قصة جول فيرن هذه ، ليست خيالية بصورة تامة ، اذ ان تجربة اشعال النار في الخشب ، بواسطة عدسة من الجليد ، تمت لأول مرة بنجاح في انكلترا ، وذلك باستخدام عدسة كبيرة جدا في عام ١٧٦٣ . وبعد ذلك ، أخذت تعاد التجربة باستمرار وبنجاح تام . وبالطبع ، من الصعب صنع عدسة شفافة من الجليد ، باستخدام مثل هذه الادوات ، كالفأس والسكين واليد (عند درجة حرارة تصل الى ٤٨ ° تحت الصفر) ، ولكن يمكن صنع عدسة من الجليد بطريقة اسهل : نصب الماء في قدح له نفس شكل العدسة المطلوبة ، ثم نجمده ، ونسخن القدح قليلا ، ونخرج منه العدسة الجاهزة .

المساعدة الناجمة عن اشعة الشمس

يمكن بمساعدة اشعة الشمس ، القيام بتجربة اخرى سهلة الانجاز ، في البلاد التي يوجد فيها ثلج في الشتاء . نأخذ قطعتين متساويتين من القماش ، احدهما بيضاء والاخرى سوداء ، ونضعهما على الثلج الموجود تحت الشمس . واذا عدنا بعد ساعة او ساعتين ، فسرى ان القطعة السوداء قد غاطت في الثلج ، بينما بقيت القطعة البيضاء على نفس المستوى السابق . ان البحث عن اسباب هذا الاختلاف ليس صعبا : ان الثلج الموجود تحت القطعة السوداء ، يذوب بسرعة اكبر ، وذلك لان القماش الاسود يمتص القسم الاكبر من اشعة الشمس الساقطة عليه . اما القطعة البيضاء ، فعلى

عكس ذلك ، تشتت اشعة الشمس . ولهذا تسخن بدرجة اقل من سخونة القطعة السوداء . ان اول من قام باجراء هذه التجربة التعليمية ، هو المناضل البارز فى حركة استقلال الولايات المتحدة الامريكية ، بنيامين فرانكلين ، الذى خلد نفسه كفيزيائى ، باختراعه لموصل الصواعق . وقد كتب حول ذلك ما يلى :

« لقد أخذت من الخياط عدة قطع مربعة من الجوخ ، بالوان متنوعة ، منها الاسود والازرق الداكن والازرق الفاتح والاخضر والارجوانى والاحمر والابيض ، والوان اخرى متنوعة . وفى احد الايام الساطعة ، وضعت جميع هذه القطع على الثلج . وبعد عدة ساعات ، رأيت ان القطعة السوداء ، التى سخنت اكثر من البقية ، قد غاطت عميقا فى الثلج بحيث لم تعد تصلها اشعة الشمس ، وقد غاطت القطعة الزرقاء الداكنة الى نفس عمق القطعة السوداء تقريبا ، اما القطعة الزرقاء الفاتحة ، فقد غاطت الى عمق يقل كثيرا عما سبق . اما القطع الباقية ، فقد غاطت الى اعماق ، تقل كلما كان اللون فاتحا اكثر . اما القطعة البيضاء فقد بقيت على السطح ، اى لم تغط مطلقا » . ثم يستمر فى حديثه وهو يتساءل بعجب :

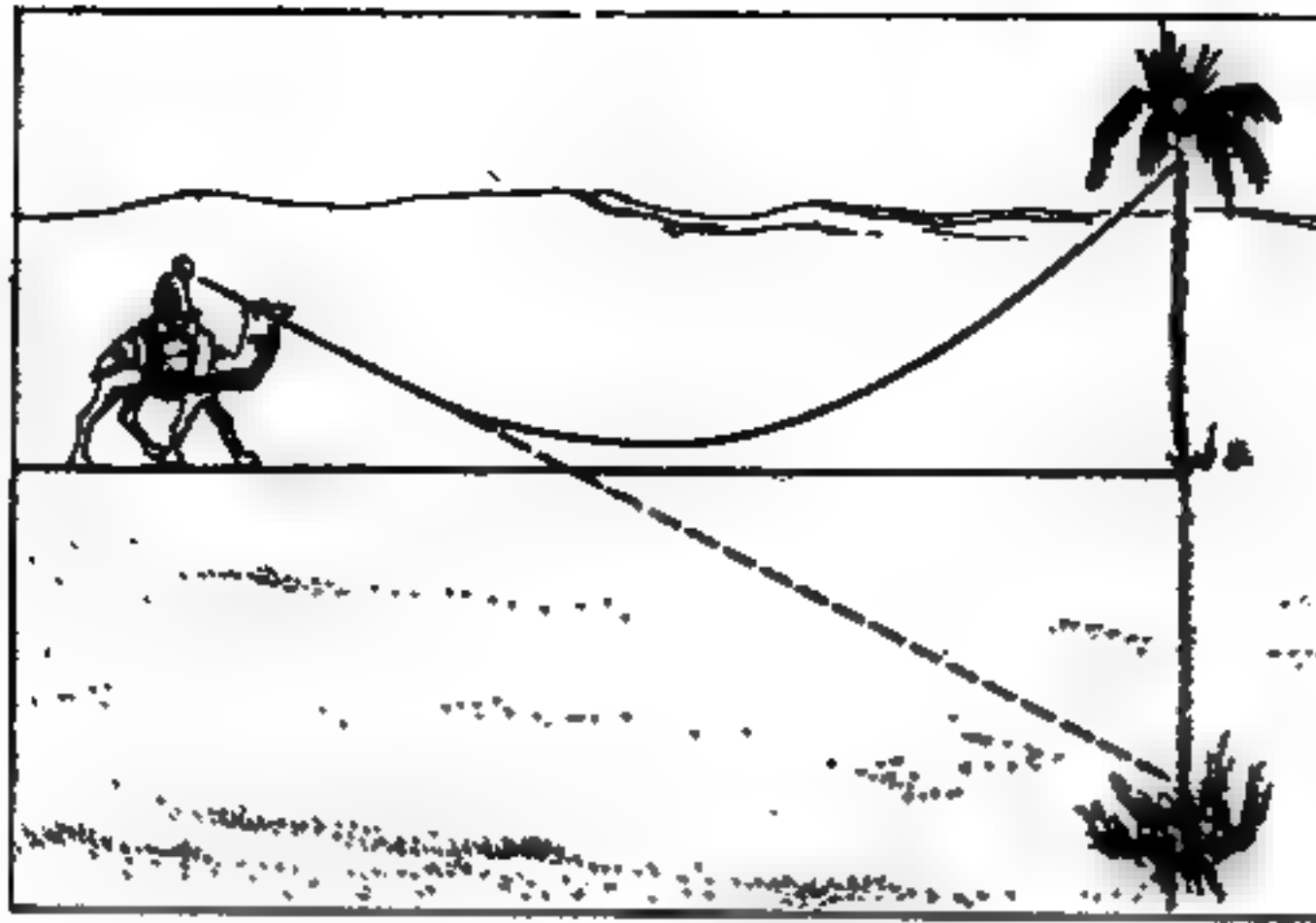
« ما الفائدة من النظرية ، اذا لم نستطع الاستفادة منها عمليا ؟ وهل اننا لا نستطيع ان نستنتج من هذه التجربة ، ان الثوب الاسود اقل ملائمة لنا ، من الثوب الابيض ، فى الجو المشمس الدافئ ، وذلك لانه يسخن اجسامنا فى الشمس ، اكثر مما يسخنها الثوب الابيض ؟ واذا كنا عند ذلك سنقوم ببعض الحركات التى تسخن اجسامنا بالذات ، فعندئذ تتولد حرارة زائدة . الا يجب ان تكون القبعات الرجالية والنسائية الصيفية ، بيضاء اللون ، لكى تبعد ذلك الحر ، الذى يسبب لبعض الناس ، الاصابة بضربة الشمس ؟ ... وبالإضافة الى ذلك ، الا يمكن للجدران السوداء خلال النهار ، ان تمتص كمية من حرارة الشمس ، بحيث تحتفظ ليلا بقسم منها ، وتبقى دافئة نوعا ما لتحفظ الفواكه من البرد ؟ الا يستطيع المراقب الدقيق ، ان يستنتج او يجد بعض الحالات الاخرى ، التى يمكن الاستفادة منها كثيرا او قليلا ؟ » .

اما هذه الاستنتاجات والفوائد ، فقد اتضحت خلال البعثة الالمانية الى القطب الجنوبي ، على ظهر السفينة « هاوس » عام ١٩٠٣ . لقد انحصرت السفينة في الجليد ولم تفلح كافة المحاولات التي بذلت لاجراجها من هناك . اما المواد المتفجرة والمناشير التي استخدمت في العملية ، فلم تبعد سوى عدة مئات من الامتار المكعبة من الجليد ، ولم تخلص السفينة من المأزق . عندئذ لجأ افراد البعثة الى استخدام اشعة الشمس : وضعوا على الجليد شريطا من الرماد والفحم الحجري ، طوله ٢ كم وعرضه عشرة امتار ، يمتد من السفينة الى اقرب شق عريض في الجليد . حدث ذلك في ايام الصيف المشمسة الطويلة عند القطب ، حيث قامت اشعة الشمس بعمل لم تقم به المتفجرات والمناشير . لقد ذاب الجليد ، وتحطم على امتداد الشريط المذكور ، وبذلك تحررت السفينة من الجليد الذي كان يحصرها .

السراب

ربما يعرف كافة القراء ، كيف يمكن تعليل نشوء السراب العادي من الناحية الفيزيائية . ان رمل الصحراء المتوهج بتأثير القبط ، يكتسب نفس خواص المرآة ، لان كثافة طبقة الهواء الساخنة القريبة منه ، اقل من كثافة الطبقات العليا . وعند وصول شعاع الضوء المنبعث من احد الاجسام البعيدة ، الى هذه الطبقة من الهواء ، يتقوس في داخلها . بحيث يبتعد بعد ذلك عن سطح الارض ويصل الى عين المسافر ، وكأنه منعكس على سطح مرآة بزاوية سقوط كبيرة جدا . ويبدو عندئذ للمسافر ، انه يرى امامه سطح الماء الهادئ وقد امتد في الصحراء ، فانعكست على صفحته صور الاجسام الموجودة على الشاطئ (شكل ١١٥) .

وبالمناسبة ، كان من الاصح ان نقول بان طبقة الهواء الساخنة ، الموجودة بالقرب من الرمل المتوهج ، لا تعكس الاشعة مثلما تعكسها المرآة ، ولكن مثلما يعكسها سطح الماء ، عندما ننظر اليه من الاعماق . ان ما يحدث في هذه الحالة ، ليس مجرد انعكاس ، انما يحدث ما يسمى بلغة الفيزياء بـ « الانعكاس الكلي » . ولكي يحدث هذا



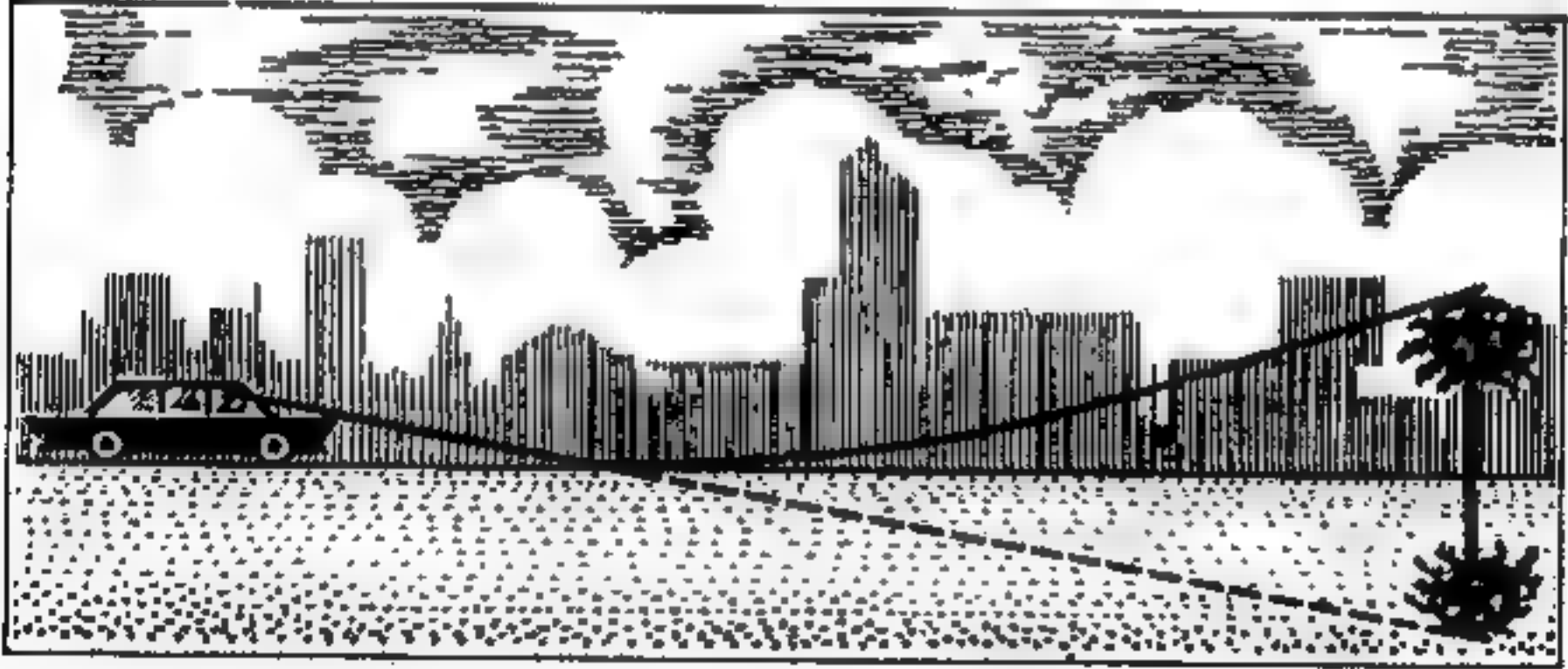
شكل ١١٥ : كيف ينشأ السراب في الصحراء ؟ ان هذا الشكل الذى يطالعنا عادة فى الكتب المدرسية ، يبين بصورة مبالغ فيها ، طريق شعاع الضوء المائل على الارض .

الانعكاس ، يجب ان يكون الشعاع الداخلى فى طبقات الهواء ، مائلا جدا - اكثر من الميل الذى هو عليه فى الشكل المبسط ١١٥ . وفيما عدا ذلك ، سوف لا تتكون لدينا « الزاوية الحرجة » لسقوط الشعاع ، التى لا يحدث بدونها انعكاس كلى . وهنا تجدر الاشارة الى نقطة واحدة من هذه النظرية ، يمكنها ان تحدث التباسا عند القارئ ، وهى ان التفسير المذكور ، يتطلب ان تكون الطبقات الهوائية الكثيفة ، اعلى من الطبقات التى تقل عنها كثافة . ولكننا نعلم ان الهواء الكثيف والثقيل ، يحاول دائما الهبوط الى الاسفل وازاحة طبقة الغاز الخفيفة الموجودة تحته ، الى الاعلى . كيف يمكن ان توجد هذه الوضعية لطبقات الهواء الكثيف والمخلخل ، التى لا بد منها لظهور السراب ؟

ان الجواب على هذا السؤال ، يتلخص فى ان الوضعية المطلوبة لطبقات الهواء ، لا تتحقق عند سكون الهواء ، ولكنها تتحقق عند وجود الهواء المتحرك . ان طبقة الهواء المسخنة بحرارة الارض ، لا تبقى ساكنة على الارض ، ولكنها تتزاح الى الاعلى باستمرار ،

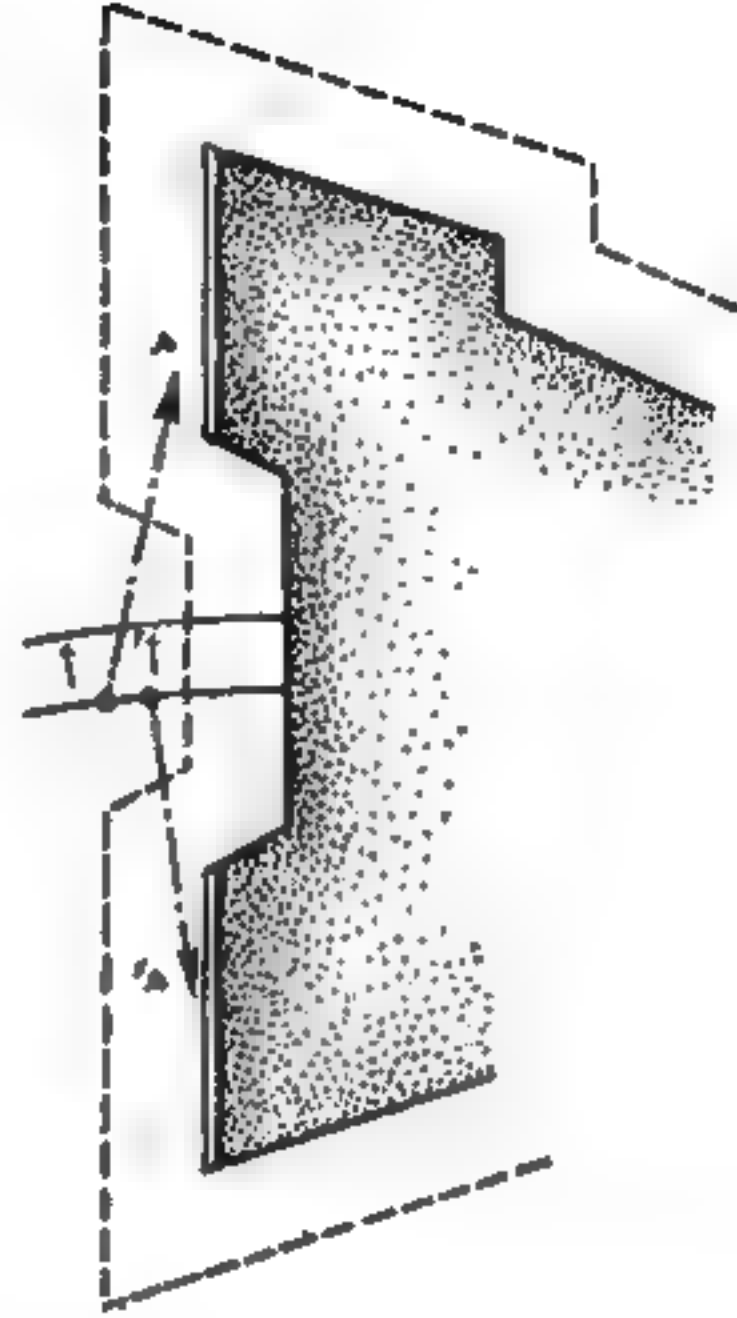
وتستبدل حالا بطبقة جديدة من الهواء الساخن . والتبديل المستمر ، يجعل الرمل المتوهج على اتصال دائم بطبقة ما من الهواء المخلخل ، ولتكن مختلفة الانواع ، لان هذا لا يؤثر على سير الاشعة .

ان نوع السراب قيد البحث ، معروف منذ قديم الزمان . ويسمى فى علم الارصاد الجوية الحديث بالسراب السفلى (وذلك لتمييزه عن السراب العلوى ، الذى ينشأ نتيجة لانعكاس اشعة الضوء فى طبقات الهواء المخلخل ، فى الاجواء العليا) . ويعتقد اكثر الناس ، بان هذا السراب الكلاسيكى لا يظهر الا فى الصحارى الجنوبية الحارة ، ولا يمكن ظهوره مطلقا ، فى المناطق الواقعة على خطوط العرض الشمالية . وهذا غير صحيح ، لاننا كثيرا ما نلاحظ السراب السفلى فى المناطق الشمالية . ويكثر حدوث مثل هذه الظواهر ، وبصورة خاصة فى ايام الصيف ، على الطرق المبلطة والمعبدة بالاسفلت التى تسخن بشدة بتأثير الشمس ، وذلك بفضل لونها الاسود . عندئذ يبدو سطح الطريق المعتم من بعيد ، وكأنه مغطى بالمياه ، ويعكس الاجسام البعيدة . ان سير اشعة الضوء ، فى حالة نشوء مثل هذا السراب ، مبين فى الشكل ١١٦ . وعند المراقبة الكافية ، يمكن مشاهدة مثل هذه الظواهر ، عدة مرات ، لا نادرا ، كما يعتقد الناس .



شكل ١١٦ : السراب على احد الطرق المبلطة .

ويوجد نوع آخر من السراب ، وهو السراب الجانبي ، الذي لا يشك احد في وجوده . وهذا السراب هو انعكاس لاحد الجدران العمودية الساخنة . وقد أتى على وصفه احد المؤلفين الفرنسيين . فعند اقترابه من طاية القلعة ، لاحظ ان الجدار الخرساني المسطح للطاية ، بدأ يلمع فجأة مثل المرآة ، وقد انعكس فيه المنظر الطبيعي بما فيه الارض والسماء . وعند تقدمه عدة خطوات الى الامام ، لاحظ نفس التغير وقد طرأ على الجدار الآخر للطاية . وبدأ له وكان السطح الرمادي غير المنتظم ، قد تحول فجأة الى سطح لامع . كان يوما قائظا ، أدى الى تسخن الجدران بشدة ، وكان هذا هو السبب الذي جعل الجدران تلمع .



شكل ١١٧ : السقط الافقي لجداري القلعة ، حيث لوحظ السراب. ان الجدار ه يبدو صقيلا من النقطة أ ، أما الجدار ه' فيبدو صقيلا من النقطة أ' .

ويبين الشكل ١١٧ وضعية جداري الطاية (ه و ه') وموقع المراقب الفرنسي (أ وأ') . وقد اتضح ان السراب يظهر كلما سخنت اشعة الشمس الجدار تسخيناً كافياً . وقد امكن تصوير هذه الظاهرة والحصول على صورتها الفوتوغرافية .

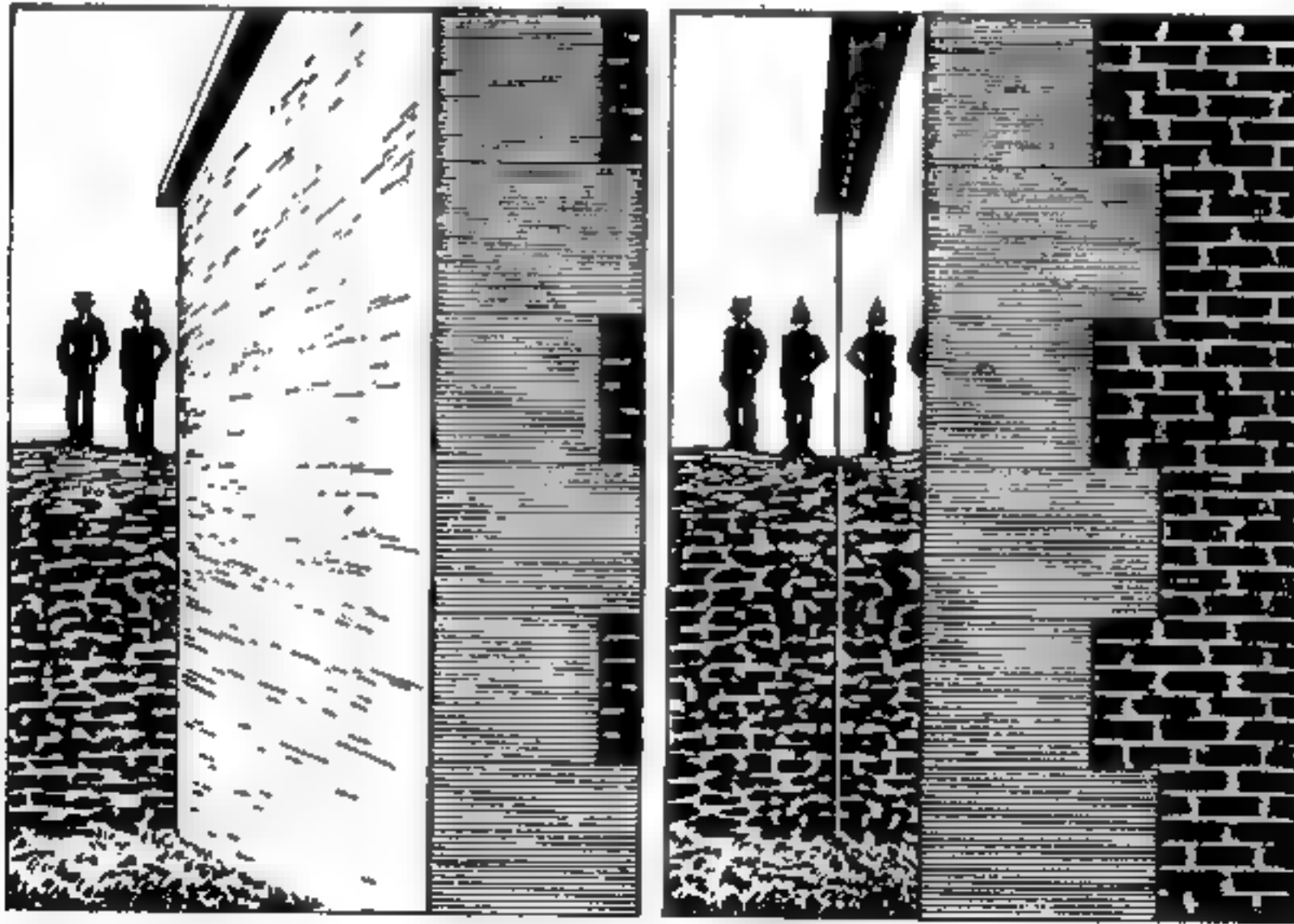
ويبين الشكل ١١٨ الجدار ه (الى اليسار) ، وهو في البداية اربد ، ثم يبدو بعد ذلك (الى اليمين) وهو يلمع مثل المرآة (التقطت الصورة من النقطة أ') . وفي الصورة اليسرى — يبدو الجدار الخرساني الرمادي بشكل طبيعي ، ولا يمكن ان تنعكس فيه صورتا الجنديين الواقفين بالقرب منه . وفي الصورة اليمنى ، يبدو القسم الاكبر من الجدار ، وهو يلمع مثل المرآة ، وقد انعكست فيه صورة الجندي الواقف بالقرب منه .

وبالطبع ، فان الذى يعكس الاشعة هنا ، ليس سطح الجدار ، وانما طبقة الهواء الساخن ، الملاصقة له .

واذا راقبنا جدران المباني الكبيرة ، التى تتوهج فى ايام الصيف القائظة ، لرأينا بلا شك ان عدد حالات ظهور السراب ، سيزداد بشكل محسوس .

«الشعاع الاخضر»

« هل سبق للقارئ ان قام بمراقبة الشمس وهى تغيب وراء افق البحر ؟
نعم ، بلا شك . وهل تتبع القارئ قرص الشمس ، حتى اللحظة التى تصبح فيها حافة القرص العليا ، ملامسة لخط الافق ، ثم يختفى نهائيا ؟
ان هذا امر محتمل حسبما اعتقد . ولكن هل لاحظ القارئ تلك الظاهرة ، التى تحدث عندما يرسل الكوكب المتألق ، آخر شعاع له ، خاصة اذا كانت السماء عند



شكل ١١٨ : وفجأة يتحول الجدار الرطب الخشن (الى اليسار) ، الى جدار صقيل هالكس (الى اليمين) .

ذلك خالية من الغيوم وصافية تماما ؟ من المحتمل الا يكون القارئ قد لاحظ ذلك .
وننصح القارئ الا يدع الفرصة تفوته ، وان يحاول القيام بهذه المراقبة ، وسيرى عندئذ
بدل الشعاع الاحمر ، شعاعا بلون اخضر بديع ، لا يمكن لآى رسام ان يأتي بمثله ،
ولا يوجد شبيه له حتى فى الوان كافة انواع النباتات الموجودة فى الطبيعة ، او فى لون
البحر الصافى .

ان هذه الملاحظة التى ظهرت فى احدى الصحف الانجليزية ، اثارت حماس
بطلة قصة جول فيرن « الشعاع الاخضر » ، وجعلتها تقوم بعدد من الرحلات لغرض واحد
فقط ، هو رؤية الشعاع الاخضر بالعين المجردة . ومع ان الفناة الاسكتلندية ، كما
جاء فى القصة ، لم تفلح فى رؤية هذه الظاهرة الطبيعية البديعة ، الا ان ذلك لا ينفى
وجود تلك الظاهرة .

ان الشعاع الاخضر ليس اسطورة ، ولو انه على صلة بكثير من الحوادث الاسطورية .
انه عبارة عن ظاهرة طبيعية ، تدخل البهجة على نفس كل من يحب الطبيعة ، اذا حاول
ان يبحث عنها بصبر وناة .

لماذا يظهر الشعاع الاخضر ؟

سنفهم سبب ذلك ، اذا تذكرنا باى شكل تظهر الاجسام امام اعيننا ، اذا نظرنا
اليها من خلال منشور زجاجى . نقوم باجراء التجربة التالية : نضع المنشور امام العين
بصورة افقية ، بحيث يكون اتجاه جانبه العريض الى الاسفل ، وننظر من خلاله الى
قطعة من الورق ، ملصقة على الجدار . سنلاحظ اولا ، ان قطعة الورق قد ارتفعت كثيرا
عن مستواها الحقيقى ، وثانيا ، ظهرت فى اعلاها حاشية بنفسجية — زرقاء ، وفى اسفلها
حاشية صفراء — حمراء . ان الارتفاع المذكور يعتمد على انكسار الضوء ، اما الحواشى
الملونة ، فتعتمد على تشتيت الزجاج للضوء ، اى قابلية الزجاج لكسر الاشعة المختلفة
الالوان ، كسرا مختلفا . ان الاشعة البنفسجية والزرقاء ، تنكسر اشد من غيرها ، ولذلك
نشهد فى الاعلى حاشية بنفسجية — زرقاء ، اما الاشعة الحمراء ، فهى اضعف انكسارا
من البقية ، ولذلك تبدو الحاشية السفلى للورقة ، حمراء اللون .

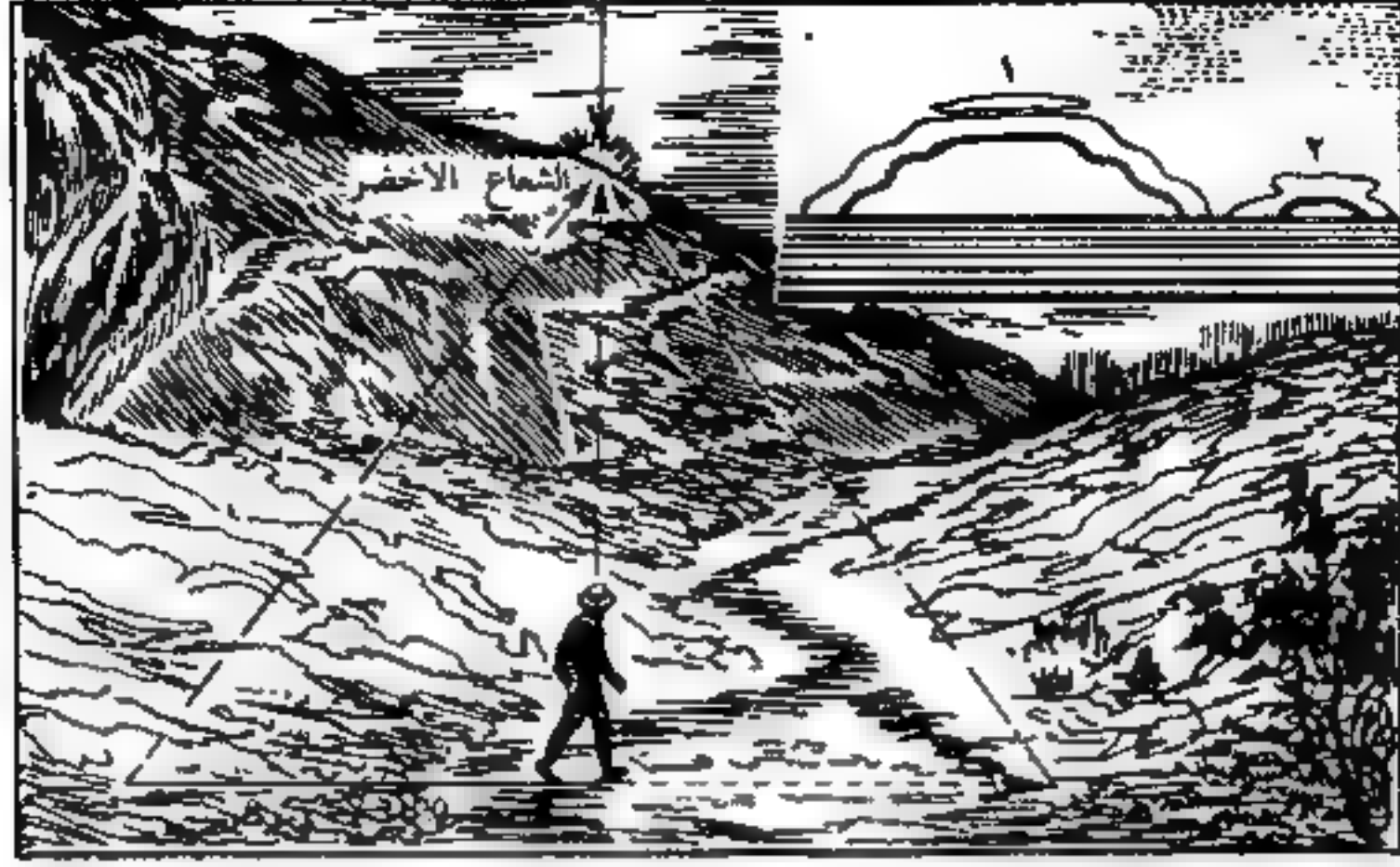
ولكى نفهم الحقائق الأخرى بصورة أوضح ، يجب التوقف هنا لشرح مصدر تلك الحواشى الملونة . ان الموشور يحلل الضوء الأبيض المنبعث من الورقة ، الى كافة ألوان الطيف الشمسى ، ويعطى عدة صور ملونة لقطعة الورق ، تكون فى الغالب مركبة فوق بعضها ، ومرتبعة حسب نظام الانكسار . ونتيجة للتأثير الموحد لهذه الصور الملونة ، المركبة فوق بعضها ، ترى العين اللون الأبيض (تركيب الألوان الطيفية) ، ولكن تظهر فى الأعلى والأسفل ، حاشيتان من الألوان غير المختلطة . ان الشاعر الألماني والعالم الطبيعى المشهور غوته ، الذى عاش فى القرن الثامن عشر ، قام بأجراء هذه التجربة ولم يفهم معناها الحقيقى ، فتصور انه فضح بذلك بطلان نظرية نيوتن المتعلقة بالألوان ، وكتب بعد ذلك بحثا خاصا عن « علم الألوان » . وقد كان البحث برمته تقريبا ، مبنيًا على تصورات خاطئة . والمفروض من القارئ ، الا يسير فى مناهات الشاعر العظيم ، ولا يتوقع ان يعمل الموشور على تلوين كافة الأشياء .

ان جو الأرض يبدو امام أعيننا وكأنه موشور هوائى هائل ، تتجه قاعدته الى الأسفل . وعندما ننظر الى الشمس عند الأفق ، فاننا نراها من خلال ذلك الموشور الهوائى . وتظهر على الحافة العليا لقرص الشمس ، حاشية ملونة باللونين الأزرق والأخضر ، وعلى الحافة السفلى ، حاشية ملونة باللونين الأحمر والأصفر . وحينما تنتصب الشمس فوق الأفق ، فان لون القرص الساطع ، يطفى على بقية الألوان التى تقل عنه وضوحا بكثير ، ولذلك فاننا لا نراها مطلقا . ولكن فى لحظات الشروق والغروب ، عندما يكون قرص الشمس مختفيا تقريبا وراء الأفق ، يمكننا رؤية الحاشية الزرقاء للحافة العليا . وتكون ذات لونين : فى الأعلى يوجد شريط أزرق ، وفى الأسفل شريط سماوى اللون ، ناتج عن امتزاج الأشعة الزرقاء والخضراء . وعندما يكون الهواء القريب من الأفق ، نقيًا خالصا وشفافا ، تظهر الحاشية الزرقاء - « الشعاع الأزرق » . ولكن غالبا ما يتشتت الشعاع الأزرق فى الجو ، وتبقى الحاشية الخضراء وحدها ، اى تحدث ظاهرة « الشعاع الأخضر » . وانخيرا ، فى أكثر الحالات ، يتشتت كذلك ، الشعاعان الأزرق والأخضر ، فى طبقات الجو الكثيرة ، وفى هذه الحالة لا تظهر اية حاشية ، اذ تغلف الشمس بكرة ارجوانية .

ان العالم الفلكى السوفييتى يخوف ، الذى قام ببحث خواص ظاهرة « الشعاع الاخضر » ، يذكر لنا بعض علامات رؤى تلك الظاهرة : « اذا كان لون الشمس عند الغروب احمر ، وكان من السهل علينا ان ننظر اليها بالعين المجردة ، يمكننا عندئذ ان نؤكد بان « الشعاع الاخضر » لن يظهر » . والسبب هنا واضح : ان اللون الاحمر لقرص الشمس ، يدل على شدة تشتت الاشعة الزرقاء والخضراء فى الجو ، اى تشتت الحاشية العليا للقرص برمتها . ثم يستمر يخوف فى حديثه : « وعلى عكس ذلك ، اذا غيرت الشمس قليلا ، من لونها الطبيعى الاصفر المائل الى البياض ، ومالت الى المغيب وهى متألفة جدا - اى اذا كان الجو لا يمتص كثيرا من الضوء - ، يمكننا عندئذ ان نتوقع الى درجة كبيرة ، ظهور « الشعاع الاخضر » . والشئ المهم هنا بالضبط ، ان يكون الافق خطا مستقيما متميزا ، اى بدون وجود نتوءات ، مثل غابة قريبة او بنايات وغير ذلك . وهذه الشروط تتحقق على خير وجه ، عند البحر ، ولهذا السبب ، يعرف البحارة الشعاع الاخضر ، معرفة جيدة » .

وهكذا ، فلكى نرى « الشعاع الاخضر » يجب مراقبة الشمس عند غروبها او شروقها ، حينما تكون السماء صافية جدا . وفى البلاد الجنوبية ، تكون السماء عند الافق ، اكثر صفاء مما هى عليه فى البلاد الشمالية . ولهذا السبب ، فان « الشعاع الاخضر » يظهر فى الجنوب اكثر من ظهوره فى الشمال . ولا يكون ظهوره نادرا عند خطوط العرض المتوسطة ، كما يفكر الكثير من الناس ، الذين يحتمل ان يكونوا متأثرين بقصة جول فيرن . ان من يبحث عن « الشعاع الاخضر » بروح المثابرة ، فانه سيراه عاجلا ام آجلا . وقد تمكن البعض من مشاهدة هذه الظاهرة البديعة ، بواسطة المنظار . وقد وصف هذه الظاهرة ، عالمان فلكيان من مقاطعة الازاس فى المانيا ، على الشكل التالى :

« خلال الدقيقة الاخيرة التى تسبق غروب الشمس ، عندما يكون قسم كبير من قرصها ما زال واضحا ، وله حدود موجية الحركة ، حادة الملامح ، وهو محاط بحاشية خضراء ، وما دامت الشمس لم تغب نهائيا بعد ، فلا يمكن رؤى تلك الحاشية بالعين المجردة . ويمكن رؤيتها فى حالة واحدة فقط ، هى عندما تختفى الشمس



شكل ١١٩ : مراقبة « الشعاع الأخضر » لمدة طويلة ، حيث شاهد المراقب « الشعاع الأخضر » وراء سلسلة الجبلية لمدة خمس دقائق بكاملها . اعل الشكل الى اليمين - « الشعاع الأخضر » كما يرى من خلال الانبوب البصرى . ويكون لمحيط قرص الشمس شكل غير منتظم . وفي الحالة (١) يؤدي لمعان قرص الشمس الى اعماء امين فيحول بذلك دون رؤية الحاشية الخضراء بالعين المجردة . اما فى الحالة (٢) ، عندما يختفى قرص الشمس تقريبا ، فيمكن رؤية « الشعاع الأخضر » بالعين المجردة .

كليا وراء الافق . فاذا نظرنا بمنظار يكبر الاشياء الى درجة كبيرة (بحوالى ١٠٠ مرة) ، لنمكننا من مراقبة جميع الظواهر بالتفصيل : ان آخر وقت تظهر فيه الحاشية الخضراء ، يكون قبل غروب الشمس بعشر دقائق ، وتحيط الحاشية الخضراء بالقسم العلوى للقرص ، فى الوقت الذى تظهر فيه حاشية حمراء فى القسم السفلى منه . ويكون عرض الحاشية فى اول الامر صغيرا جدا (عدة ثوان من القوس فقط) ، ويزداد كلما توغلت الشمس وراء الافق ، حتى يصل فى بعض الاحيان الى نصف دقيقة من القوس . وكثيرا ما تلاحظ فوق الحاشية الخضراء نوءات خضراء ايضا ، تبدو عند اختفاء الشمس تدريجيا ، وكأنها تزحف على حافتها الى نقطة اعلى ، وحيانا تنفصل عن الحاشية وتتألق لعدة ثوان بصورة مستقلة الى ان تنطفىء (شكل ١١٩) .

وعادة ، تستغرق هذه الظاهرة ، ثانية او ثانيتين من الوقت . ولكن في بعض الحالات الاستثنائية ، تستغرق اكثر من ذلك بكثير . وهناك حالة ، دأب فيها ظهور « الشعاع الاخضر » ، اكثر من خمس دقائق ! اختفت الشمس وراء الجبال البعيدة ، ولاحظ المراقب السريع الخطى ، الحاشية الخضراء لقرص الشمس ، وكأنها تنحدر من قمة الجبل الى اسفله (شكل ١١٩) .

واحسن حالات مراقبة « الشعاع الاخضر » تتوفر عند شروق الشمس ، حينما تبدأ حافة الشمس العليا بالظهور من تحت الافق . وهذا يدحض الظنون القائلة بان « الشعاع الاخضر » ما هو الا خداع البصر ، الذى تستسلم له العين وهى مصابة بالاعياء نتيجة لتأثير البريق الساطع ، للشمس التى غابت للتو .

وليست الشمس بالكوكب الوحيد ، الذى يرسل « الشعاع الاخضر » ، فقد لوحظت هذه الظاهرة ، عند انبعاثها من كوكب الزهرة ، وهو يميل الى المغيب .

قبل الاهتداء الى التصوير الضوئى

لقد اصبح التصوير الضوئى فى حياتنا اليومية ، امرا عاديا جدا ، بحيث لا يمكننا ان نتصور كيف استطاع احدادنا ، حتى القريين منهم ، ان يستغنوا عنه. ويحدثنا الكاتب الانكليزى تشالز ديكتر فى مؤلفه المعنون «يوميات بيكويك» ، كيف تم طبع الملامح الخارجية لاحد الاشخاص فى احدى المؤسسات الحكومية فى انجلترا ، قبل مائة سنة . تجرى الحوادث فى احد السجون ، التى اقتيد اليها بيكويك . واخبروا بيكويك ، بان عليه ان ينتظر الى ان تلتقط له صورة .

وصاح بيكويك بدهشة :

«- تلتقط لى صورة !

فاجابه السجنان القوي البنية :

«- صورة تشبهك تماما يا سيدى ، يجب ان تعلم باننا اسانذة فى فن التقاط الصور . فقبل ان تنتهى من ادارة وجهك ، سنكون الصورة جاهزة . اجلس يا سيدى واطمئن تماما .

استجاب بيكويك للدعوة فجلس . وعندئذ همس صموئيل (خادم بيكويك) فى اذنه واخبره بان عبارة «التقاط صورة» ، تحمل هنا معنى مجازيا :
«- ان هذه العبارة يا سيدى ، نعى بان السجنان سينتصرون وجهك مليا ، لكى يميزونك عن الزوار .

وبدأت العملية .لقى السجنان البدين نظرة لأبالية على بيكويك ، بينما وقف

صاحبه قبالة السجين الجديد وراح ينظر اليه نظرة ثابتة . اما الرجل الثالث ، فقد وقف امام وجه بيكويك تماما ، وأخذ يتفرس في ملامحه بانتباه شديد .
واخيرا التقطت الصورة ، واخبروا بيكويك بانه يستطيع الآن الذهاب الى السجن .
وقبل ذلك الوقت ، كانت « جداول » العلامات الفارقة ، تقوم بدور هذه « الصور »
العالقة بالذاكرة . ويحدثنا الشاعر بوشكين في روايته « بؤريس جدونوف » ، كيف
وصفوا جريجورى اوتريبييف فى مرسوم القيصر : « قصير القامة ، عريض المنكبين ،
احدى يديه اقصر من الاخرى ، عيناه زرقاوان ، شعره احمر ، توجد على خده ثؤلولة
واحدة . وعلى جبينه ثؤلولة اخرى » . اما فى هذا الوقت ، فيكفى وضع الصورة فقط .

ما الذى لا يستطيع ان يفعله الكثير ؟

لقد وصل التصوير الضوئى الى روسيا فى اربعينيات القرن الماضى ، وكان فى
بادئ الامر على هيئة ما يسمى بـ « التصوير الشمسى على الواح معدنية » . وقد كانت
طريقة هذا التصوير غير مريحة ، وذلك لضرورة الجلوس امام آلة التصوير وقتا طويلا ،
بلا حراك - لعدة عشرات من الدقائق .

ويحدثنا عن ذلك ، العالم الفيزيائى اللينينغرادى ، البروفيسور فاينبرج : « لقد
جلس جدى امام آلة التصوير الشمسى على الالواح المعدنية ، حوالى اربعين دقيقة ،
للحصول على صورة واحدة فقط ، لا يمكن مضاعفتها ! » . ومع ذلك ، فقد كانت
امكانية الحصول على صورة دون الاستعانة برسام ، شيئا جديدا يدعو الى العجب ، حيث
لم يتعود الناس عليه الا بعد مرور وقت طويل .

وهناك قصة طريفة نشرت فى احدى المجلات الروسية القديمة عام ١٨٤٥ ،
وهى تنطرق الى هذا الموضوع : « ان الكثير من الناس حتى يومنا هذا ، لا يريد ان يصدق
بان آلة التصوير تشتغل ذاتيا . فقد قدم احد الوجهاء الى المصور ، وطلب التقاط صورة
له . فاجلسه المصور على الكرسي ، وضبط عدسة الجهاز ، ووضع اللوح المعدنى ،
ثم نظر الى ساعته وخرج . وطوال الوقت الذى كان فيه المصور فى الغرفة ، كان الوجيه

يجلس بلا حراك ، ولكن ما ان خرج المصور من الغرفة ، حتى اعتقد الوجيه بانه لا داعى بعد ذلك للجلوس بسكون ، فنهض عن الكرسي ، وبدأ ينشق التبغ ويتفحص آلة التصوير من كافة الجهات ، وفرب عينه من العدسة ثم هز رأسه وتمتم قائلا : « آلة ماهرة الصنع ! » وأخذ يذرع ارض الغرفة جيئة وذهابا .

ولما عاد المصور ، توقف عند الباب مندحشا ، وصاح فى الوجيه قائلا :

— ماذا تفعل ؟ لقد رجوتك ان تجلس بلا حراك !

— لقد جلست ، ولم انهض الا عند مغادرتك للغرفة .

— كان يجب ان تجلس طوال هذا الوقت .

— ولماذا يجب ان اجلس بدون فائدة ؟

وقد يبدو للقارئ اننا فى الوقت الحاضر قد ابتعدنا عن كافة الافكار الساذجة ، المتعلقة بالتصوير . ولكن فى هذا الوقت ايضا ، نرى ان معظم الناس ، لم يستوعبوا بعد فهم التصوير ، فهما دقيقا ، وبهذه المناسبة ، فان قليلا من الناس فقط ، يعرف كيف يجب ان ننظر الى الصورة الجاهزة . هل يعتقد القارئ ان هذا الامر بسيط ، ولا يحتاج الى معرفة سوى تناول الصورة باليد والنظر اليها ؟ ! ان الامر ليس بهذه السهولة مطلقا : ان الصور الفوتوغرافية ، هى من الاشياء المستعملة فى حياتنا اليومية ، وبالرغم من انتشارها الواسع ، فاننا لا نستطيع الى الآن ان ننظر اليها بصورة صحيحة . ان اكثر المصورين ، المحترفين منهم . والهواة — ناهيك عن سائر الجماهير — ينظرون الى الصور الفوتوغرافية ، بطريقة تختلف تماما عما يجب ان تكون عليه . ان التصوير الضوئى معروف منذ قرن من الزمن تقريبا ، ومع ذلك فان كثيرا من الناس لا يعرف على وجه الخصوص ، كيف يجب ان ننظر الى الصور الفوتوغرافية .

كيف يجب ان ننظر الى الصور الفوتوغرافية ؟

ان تركيب آلة التصوير ، مبنى على نفس مبدأ تركيب العين . والشكل الذى يظهر على زجاجها المسنفر ، يعتمد على المسافة بين العدسة والجسم المراد تصويره . ان آلة

التصوير تطبع على اللوح ، المنظر العام الذى يظهر امام العين (العين الواحدة فقط !) ، التى تحل محل العنسة . ويتبع من ذلك ، اننا اذا اردنا ان تعطى الصورة الفوتوغرافية ، نفس الانطباع البصرى ، الذى تعطيه الطبيعة بالذات ، فيجب علينا :



(١) ان ننظر الى الصورة الفوتوغرافية بعين واحدة

فقط ،

شكل ١٢٠ :

الاصبع كما يبدو لكل من العينين اليسرى واليمنى ، عندما يوضع قريبا من الوجه .

(٢) ان نبعد الصورة عن العين ، مسافة مناسبة .

وليس من الصعب ان نفهم ، باننا عندما ننظر

الى الصورة بعينينا الاثنتين ، فلا بد ان نرى امامنا

صورة مسطحة ، لا صورة مجسمة . وهذا ناتج بالضرورة ، عن خواص

الابصار عندنا . وعندما ننظر الى جسم صلب ، فان صورته المتكونة فى شبكية العين

اليسرى ، تختلف عن صورته المتكونة فى شبكية العين اليمنى (شكل ١٢٠) . ان هذا

الاختلاف ، هو فى الواقع السبب الرئيسى الذى يجعل الاجسام تظهر امامنا مجسمة . ان

عقلنا يقوم بدمج هاتين الصورتين المختلفتين ، فى صورة مجسمة واحدة (وعلى هذا

الاساس ، كما هو معروف ، تم تركيب جهاز الاستريوسكوب) .

ويختلف الامر اذا نظرنا الى جسم مسطح ، سطح الجدار مثلا ، عندئذ تتكون

فى كلتا العينين ، صورتان متشابهتان تماما . وهذا التشابه ، يكون بالنسبة للعقل ، بمثابة

دلالة تشير الى الامتداد السطحي للجسم .

والآن ، انضح الخطأ الذى تقع فيه ، عندما ننظر الى الصور بكلتا العينين . اذ

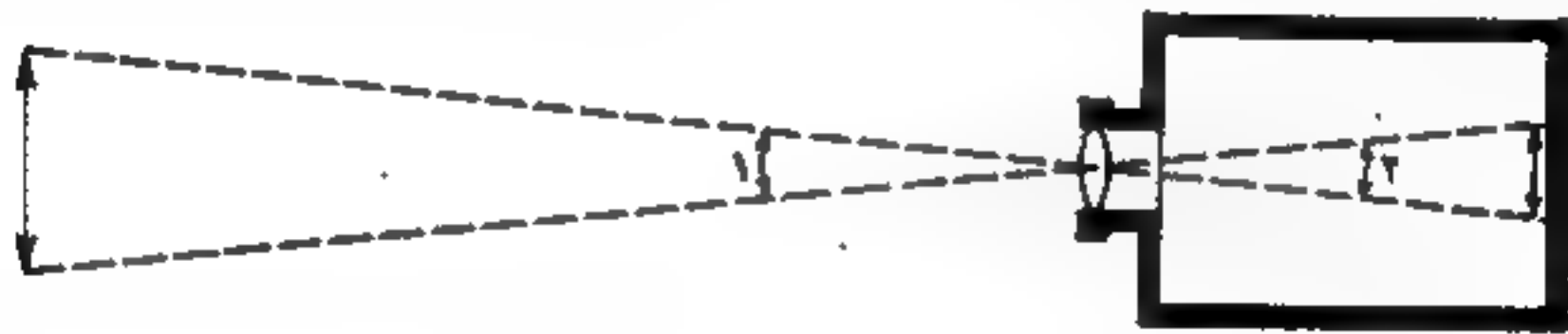
اننا بذلك ، نجعل عقلنا يتصور بان امامه صورة مسطحة بالذات ! وحينما نعرض امام

العينين ، صورة مخصصة لعين واحدة فقط ، فاننا نمنع انفسنا من رؤية المنظر الموجود

فى الصورة ، على حقيقته ، وهكذا نفسد الصورة ، التى تلتقطها آلة التصوير باتقان تام .

الى اية مسافة يجب ابعاد الصورة عن العين ؟

ان القاعدة الثانية ، المذكورة سابقا - ابعاد الصورة عن العين بمسافة مناسبة ، هي قاعدة مهمة ايضا . وفي حالة عدم مراعاتها ، يختل المنظر العام الصحيح . الى اية مسافة اذن ، يجب ابعاد الصورة عن العين ؟ للحصول على انطباع كلي ، يجب ان ننظر الى الصورة ، من نفس زاوية الابصار ، التي نسخت العدسة منها صورة الجسم ، على الزجاج المستقر لآلة التصوير . او من نفس الزاوية ، التي « نظرت » العدسة منها الى الجسم (شكل ١٢١) . وينتج من ذلك ، اننا يجب ان نبعد الصورة عن العين ، بمسافة تقل عن المسافة التي يبعد بها الجسم عن العدسة ، بعدد المرات التي يقل فيها حجم الصورة عن حجم الجسم الطبيعي . وبعبارة اخرى . يجب ابعاد الصورة عن العين ، مسافة مساوية تقريبا للبعد البؤري للعدسة . واذا أخذنا في الاعتبار ، ان البعد البؤري في اكثر آلات التصوير الخاصة بالهواة . يتراوح بين ١٢ - ١٥ سم ° ، لعرفنا باننا لا ننظر الى هذه الصور ابدا ، من مسافة صحيحة البعد عن العين : ان البعد البؤري للعين القوية الابصار (٢٥ سم) ، هو على وجه التقريب ، ضعف البعد البؤري للعدسة المذكورة اعلاه . والصور المعلقة على الحائط ، تبدو مسطحة كذلك - لاننا ننظر اليها من مسافة ابعد .



شكل ١٢١ : في آلة التصوير تكون الزاوية (١) مساوية للزاوية (٢) .

° ان المؤلف يقصد بذلك ، آلات التصوير ، بأنواعها التي كانت تستخدم في الوقت الذي تم فيه تأليف هذا الكتاب .

ان الاشخاص المصابين بقصر البصر ، يستطيعون بفضل البعد البؤرى القليل (وكذلك الاطفال ، الذين يتمكنون من الرؤية على مسافة قريبة) ، ان يمتعوا انفسهم بالتأثير الذى تعطيه الصورة العادية ، عند النظر اليها من مسافة مناسبة (بعين واحدة) . وعندما يضعون الصورة على مسافة تتراوح بين ١٢ - ١٥ سم من العين ، فانهم لا يرون امامهم صورة مسطحة ، بل صورة مجسمة ، كما تظهر فى الاستريوسكوب تقريبا . وآمل ان يتفق القارئ معى الآن ، عندما اقول باننا فى اكثر الحالات ، وبسبب جهلنا بالذات ، لا نستمد من الصور الفوتوغرافية ، تلك المتعة التامة التى توفرها لنا . اذ اننا غالبا ما نشكو عبثا ، من عدم حيوية تلك الصور . ان كل ما فى الامر ، هو اننا لا نضع عيننا فى النقطة الملائمة بالنسبة للصورة ، واننا ننظر بكلتا العينين الى الصورة ، التى يجب النظر اليها بعين واحدة .

التأثير العجيب للعدسة المكبرة

ان الناس المصابين بقصر البصر ، كما اوضحنا آنفا ، يستطيعون بسهولة رؤية الصور العادية ، بهيئة مجسمة . ولكن ماذا يفعل الناس الذين يتمتعون بعيون سليمة ؟ انهم لا يستطيعون تقريب الصورة الى مسافة قريبة جدا من العين ، ولكنهم يستطيعون استخدام العدسة المكبرة . وعندما ينظرون الى الصورة من خلال عدسة بقدرة تكبير مضاعفة ، فانهم يستطيعون بسهولة الحصول على نفس الفوائد التى يحصل عليها المصابون بقصر النظر ، اى يكون باستطاعتهم ، دون اجهاد العين ، ان يروا كيف تصبح الصورة مجسمة . ان الاختلاف بين الانطباع الذى يتكون لدينا فى هذه الحالة ، وبين الانطباع الذى يتكون لدينا عندما ننظر الى الصورة بكلتا العينين ومن مسافة بعيدة ، هو اختلاف كبير جدا . ان النظر الى الصور العادية بهذه الطريقة ، يكون على وجه التقريب ، بديلا لاستخدام الاستريوسكوب .

والآن ، اصبح من الواضح ، لماذا تبدو الصور مجسمة ، اذا نظرنا اليها بعين واحدة من خلال عدسة مكبرة . وهذه الحقيقة معروفة لدى الجميع ، ولكن التفسير

الصحيح لهذه الظاهرة ، لا يسمع به الا نادرا . وبهذا الصدد . كتب في احد نقاد كتاب « الفيزياء المسلية » ، ما يلى : « ارجو بحث السؤال التالى فى الطبعة القادمة من الكتاب : لماذا تبدو الصور مجسمة ، عندما ننظر اليها من خلال عدسة مكبرة ؟ افنى اعتقد بان التفسير المعقد للاستريوسكوب ، سوف لا يصمد امام النقد الذى سيتعرض له . حاول ان تنظر فى الاستريوسكوب بعين واحدة ، وسترى ان الصورة تحافظ على شكلها المجسم ، خلافا للنظرية » .

وبطبيعة الحال ، لقد اتضح للقراء الآن ، بان نظرية الاستريوسكوب لم تتأثر قيد شعرة ، بهذا العامل .

ان نفس المبدأ بالذات ، هو اساس التأثير الممتع لما يسمى بـ « البانوراما » * . ان الصورة العادية للمنظر الطبيعى او لمجموعة من الناس ، توضع فى هذا الجهاز الصغير . وينظر اليها من خلال عدسة مكبرة ، بعين واحدة . وهذا يكفى للحصول على الشكل المجسم ، وعادة يجعلون الصورة مجسمة اكثر ، وذلك بقص بعض الاجسام الموجودة فى صدر الصورة ، ووضعها على افراد فى مقدمة تلك الصورة . ان عيننا شديدة الحساسية بالنسبة للاشياء المجسمة القريبة ، وتقل هذه الحساسية بصورة واضحة ، بالنسبة للاشياء المجسمة البعيدة .

تغيير الصور

الا يمكن اعداد صورة فوتوغرافية ، بحيث تستطيع العين الطبيعية ان تنظر اليها بصورة صحيحة ، دون استخدام العدسات ؟ ممكن بالطبع — وللتقيام بذلك لا نحتاج الا الى استخدام آلات تصوير ، تحتوى على عدسات ذات ابعاد بؤرية كبيرة . وبعد الشرح المذكور سابقا ، يتضح ان الصورة التى نحصل عليها باستخدام عدسة يتراوح بعدها البؤرى بين ٢٥ و ٣٠ سم ، يمكن النظر اليها (بعين واحدة) من مسافة عادية — وستبدو مجسمة إلى درجة كافية .

* المنظر الشامل (العرب) .

ويمكن الحصول كذلك ، على صور لن تبدو مسطحة ، حتى اذا نظرنا اليها بـ بكلتا العينين ، من مسافة بعيدة . ولقد ذكرنا سابقا ، انه عندما نحصل بكلتا العينين ، على صورتين متماثلتين لجسم واحد معين ، يعمل العقل على دمجهما فى صورة واحدة مسطحة . ولكن قابلية العقل للقيام بذلك ، تضعف بازدياد المسافة . وقد اثبتت التجارب العملية ، ان الصور التى تم الحصول عليها باستخدام عدسة يبلغ بعدها البؤرى ٧٠ سم ، يمكن النظر اليها بكلتا العينين ، دون ان نفقد الاحساس بشكلها المجسم . ولكن ضرورة اللجوء الى استخدام العدسة ذات البعد البؤرى الكبير ، تسبب المضايقة ايضا . ولذلك نقدم الآن طريقة اخرى ، تلخص فى تكبير الصور ، التى نحصل عليها عند استخدام آلة التصوير العادية .

عند التكبير ، تزداد المسافة الصحيحة ، التى تفصل العين عن الصورة عندما ننظر اليها . واذا كبرنا الصورة التى نحصل عليها باستخدام عدسة يبلغ بعدها البؤرى ١٥ سم ، بمقدار اربع او خمس مرات ، فان هذا يكفى للحصول على التأثير المطلوب : وهو مشاهدة الصورة المكبرة بكلتا العينين ، من مسافة تتراوح بين ٦٠ و ٧٥ سم . ان عدم جلاء الصورة المبتسر ، لا يؤثر على الانطباع الذى يتكون لدينا ، وذلك لانه يختفى تقريبا ، عندما ننظر الى الصورة من مسافة بعيدة . وتكون الصورة جيدة ايضا من حيث التجسيم والمنظر الشامل .

احسن مقعد فى السينما

ان الناس الذين يترددون كثيرا على دور السينما ، ربما لاحظوا ان بعض الافلام تتميز بكونها مجسمة للغاية ، بحيث تنفصل الاجسام عن المنظر الخلفى ، وتبدو بارزة ، حتى انها تجعل المشاهد يشعر بان امامه منظرا طبيعيا حقيقيا ، او ممثلين يتحركون على خشبة المسرح بالذات . ان بروز الصور بهذا الشكل ، لا يعتمد على خواص الشريط السينمائى بالذات ، كما يظن الناس غالبا ، . انما يعتمد على المحل الذى يجلس فيه

المشاهد . ومع ان تصوير الافلام السينمائية ، يتم بواسطة آلات تصوير ذات بعد بؤرى قليل جدا ، الا انها تعرض على الشاشة بصورة مكبرة للغاية - بمائة مرة - . بحيث يمكن مشاهدتها بكلتا العينين ، من مسافة بعيدة (١٠ سم \times ١٠٠ = ١٠ م) . ويمكن ان تبدو الصورة مجسمة الى اكبر حد ، اذا نظرنا اليها من نفس زاوية الابصار ، التي « نظرت » منها العدسة الى الجسم الطبيعى اثناء تصويره . عندئذ ستبدو امامنا صورة مجسمة حقيقية .

كيف يمكننا اذن ، ان نجد المسافة المناسبة لزاوية الابصار الاكثر ملاءمة ؟ لكي نفعل ذلك ، يجب ان نختار المقعد بحيث يكون : اولا . مقابل منتصف الفلم السينمائى ، وثانيا ، ان يبعد عن الشاشة بمسافة تزيد عن عرض الصورة . بعدد مرات زيادة البعد البؤرى للعدسة . عن عرض الشريط السينمائى .

وعند تصوير الافلام السينمائية تستخدم عادة آلات تصوير يبلغ بعدها البؤرى ٣٥ مم ، ٥٠ مم ، ٧٥ مم و ١٠٠ مم . وذلك تبعا لطبيعة التصوير . اما العرض القياسى للشريط فهو ٢٤ مم . واذا بلغ البعد البؤرى ، مثلا ٧٥ مم . تكون النسبة عندئذ ، كما يلى :

$$3 \approx \frac{75}{24} = \frac{\text{البعد البؤرى}}{\text{عرض الشريط}} = \frac{\text{المسافة المطلوبة}}{\text{عرض الصورة}}$$

وهكذا ، فلكى نعرف على اية مسافة من الشاشة يجب ان نجلس . يكفى ان نضرب عرض الصورة فى العدد ٣ . فاذا بلغ عرض الصورة السينمائية ٦ خطوات ، فان احسن محل لمشاهدة ذلك الفلم ، سيقع على مسافة ١٨ خطوة من الشاشة . ويجب الا نغفل عن هذا الامر ، عند اختيار مختلف الوسائل المعدة ، لاعطاء الفلم السينمائى شكلا مجسما . وذلك لانه من السهل ان ينسب المشاهد الى الصورة ، اشياء تتعلق فى الواقع . بالامور المذكورة اعلاه .

نصيحة الى قراء المجلات المصورة

ان لنسخ الصور الفوتوغرافية المضبوطة في الكتب والمجلات . نفس خصائص الصور الاصلية ، اى انها تصبح مجسمة ايضا : اذا نظرنا اليها بعين واحدة . من مسافة مناسبة . ولما كانت الصور المختلفة ، تلتقط بآلات تصوير ذات ابعاد بؤرية مختلفة ، فان ابعاد المسافة المناسبة للنظر الى الصورة ، يتم بالتجربة . اعمض احدى عينيك ، ثم امسك الصورة بيـ . ممدودة ، بحيث يكون مستوى الصورة عموديا على شعاع الابصار . وتكون العين الممدوحة ، قبالة منتصف الصورة . والآن قرب الصورة تدريجيا ، دون ان ترفع نظرك عنها ، وبذلك ستحين اللحظة التي تبدو فيها الصورة مجسمة الى اقصى حد ممكن .

ان كثيرا من الصور ، التي تبدو غير جلية ومسطحة عندما ننظر اليها بشكل طبيعي . تصبح مجسمة وواضحة . اذا نظرنا اليها بالطريقة المذكورة سابقا . وعندما ننظر الى الصورة بهذه الطريقة ، كثيرا ما يتضح بجلاء رونق المياه ، وغير ذلك من الظواهر الاستريوسكوبية .

والشيء الذى يدعو الى العجب ، هو ان هذه الحقائق البسيطة ، لا يعرفها الا القليل من الناس ، بالرغم من ان كل ما ذكرناه تقريبا في هذا البحث ، قد تم شرحه في الكتب العامة منذ اكثر من نصف قرن مضى . واذا طالعنا كتاب « مبادئ فسيولوجيا العقل » للعالم النفسى الانجليزى كاربنتر ، الذى عاش في القرن التاسع عشر ، لوجدنا فيه البحث التالى عن مشاهدة الصور :

« ومن الجدير بالاعتبار ، ان تأثير هذه الطريقة لمشاهدة الصور الفوتوغرافية (بعين واحدة) ، لا يقتصر على اظهار بروز الاجسام ، لان هناك خصائص اخرى ، تضاف الى الصورة وتجعلها رائعة وحقيقية بشكل ليس له نظير . وهذا يختص بالدرجة الاساسية ، صورة الماء الساكن - وهى اضعف مواضع الصور الفوتوغرافية في الظروف الطبيعية . فاذا نظرنا بصفة خاصة ، الى صورة الماء هذه ، بكلتا العينين ، لظهر سطح

الماء وكأنه من الشمع . اما اذا نظرنا اليه بعين واحدة ، لظهر لنا في اغلب الاحوال ،
بصفاته البديع وعمقه .

ويمكن ان نقول نفس الشيء ، بالنسبة لمختلف خصائص السطوح العاكسة للضوء ،
مثل سطح البرونز والعاج . ويمكن بسهولة كبيرة معرفة المادة التي صنع منها الجسم المصور ،
اذا نظرنا الى الصورة بعين واحدة ، وليس بعينين .

ونلفت الانتباه الى شيء آخر . اذا كانت الصور تزداد حيوية عند تكبيرها ، فانها
على العكس من ذلك ، تقل حيوية عند تصغيرها . وفي الحقيقة ، تكون الصور المصغرة
حاددة الملامح وجلية ، ولكنها مسطحة لا تعطي انطباعا عن عمقها وتجسيمها . وبعد
كل ما ذكرناه ، يجب ان يكون السبب واضحا : بتصغير الصور الفوتوغرافية ، تقل
الابعاد المنظورية المطابقة ، التي تكون عادة صغيرة جدا .

كيف يجب ان ننظر الى اللوحات الفنية

ان ما ذكرناه عن الصور الفوتوغرافية ، ينطبق الى درجة معينة ، على اللوحات
الفنية ، التي تبدعها ريشة الرسام . اذ انها تبدو اروع ما يمكن ، اذا نظرنا اليها من مسافة
مناسبة . وفي هذه الحالة فقط ، نشعر بالمنظر المجسم ، ولا تبدو اللوحة مسطحة ، بل
تبدو عميقة وبارزة . ومن المفيد ان ننظر الى اللوحة بعين واحدة ايضا ، لا بعينين ، وخاصة
عندما تكون اللوحة صغيرة الابعاد .

وفي هذا الصدد ، كتب كاربنتر في كتابه المذكور آنفا ما يلي : « من المعروف
منذ قديم الزمان ، انه عندما ننظر الى اللوحة الفنية بانتباه ، حيث تكون الظروف المنظورية ،
والضوء والظلال ومواضع الاجزاء التفصيلية العامة ، مطابقة تماما للحقيقة ، يكون الانطباع
المتكون لدينا اكثر حيوية ، اذا نظرنا الى اللوحة بعين واحدة لا بعينين . ومن المعروف
ايضا ، ان التأثير يزداد عندما ننظر الى اللوحة من خلال انبوبة لها فتحة معينة ، تحجب
عن النظر كل ما هو خارج عن نطاق اللوحة . وقد فسرت هذه الحقيقة في السابق ،

بشكل خاطئ* تماما . فقد ذكر « باكون » في بعض كتبه ، باننا نرى بعين واحدة احسن مما نرى بعينين ، لان الارواح الحيوية تتركز عندئذ في مكان واحد ، وتصبح قوية التأثير .
ولكن الحقيقة هي اننا عندما ننظر بكلتا العينين ، الى لوحة موضوعة على مسافة معتدلة منا ، نضطر الى الاعتراف بانها مسطحة ، بينما عند النظر اليها بعين واحدة فقط ، فان عقلنا يمكن ان ينقاد بسهولة لانطباع المنظور والضوء والظلال وغير ذلك . وهكذا ، فعندما نركز النظر في اللوحة ، يبدو لنا بعد مدة قصيرة ، انها قد اصبحت مجسمة ، او حتى تبدو وكأنها حقيقية .

ان تكامل الصورة يعتمد بالدرجة الاساسية ، على دقة نقل المسقط الحقيقي للجسم على اللوحة . ان افضلية الابصار بعين واحدة ، تعتمد في هذه الحالات ، على قيام العقل الحر ، بالتحكم في اللوحة على هواه ، عندما لا يوجد ما يجبره ، على رؤيتها كلوحة مسطحة .

ان الصور المصغرة ، الملتقطة للوحات الكبيرة ، كثيرا ما تعطي تجسيما اكثر تكاملا ، مما هو عليه في اللوحات الاصلية . وسوف يفهم القارئ سبب ذلك ، اذا تذكر انه عند تصغير الصورة ، تختصر تلك المسافة الكبيرة عادة ، التي يجب ان ننظر منها الى الصورة ، ولهذا السبب تكتسب الصورة هيئة مجسمة ، وهي على مسافة قريبة من العين .

رسم الاشكال المجسمة على لوحات مسطحة

ان كل ما ذكرناه سابقا ، عن النظر الى الصور الفوتوغرافية ، وكذلك الى اللوحات والرسوم ، هو صحيح في الحقيقة ، ولكن يجب الا نفهم من ذلك ، انه لا توجد هناك طريقة اخرى للنظر الى اللوحات المسطحة ، يمكنها ان تنشئ لدى المشاهد ، انطباع مشاهدة اللوحات المجسمة . ان كل رسام ، اكان يستخدم الالوان الزيتية او اقلام الفحم او آلة التصوير ، يرسم لوحته الفنية ، بحيث تولد انطباعا لدى المشاهد ، بغض النظر عن الطريقة التي سيتبعها المشاهد في النظر الى تلك اللوحة ، لان الرسام لا يمكن ان

يفترض ، بان زوار المعرض سوف ينظرون الى لوحاته بعين واحدة ، و يقيسون المسافة المناسبة للنظر الى كل لوحة .

وتوجد لدى كل رسام او مصور ، امكانيات واسعة لنقل الفراغ المجسم (الثلاثي الابعاد) الى لوحة مسطحة (ذات بعدين) .

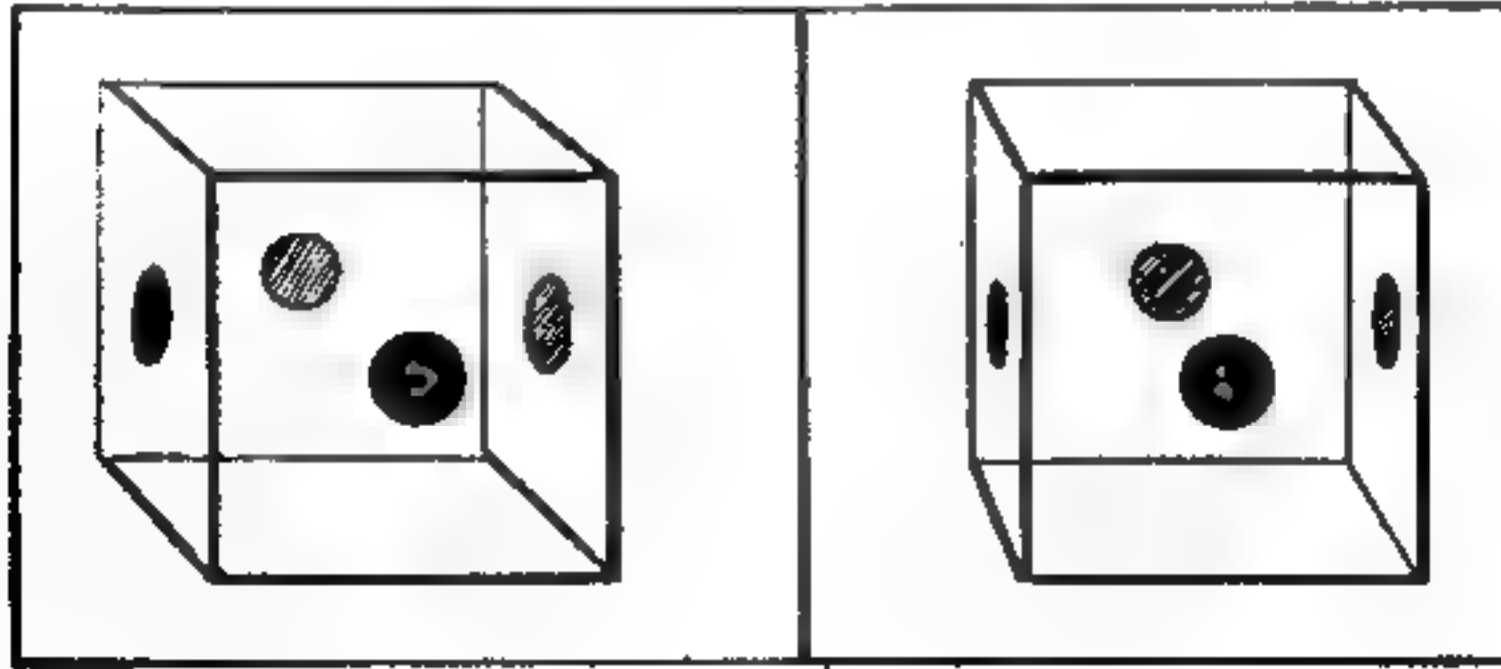
ان عدم تماثل صور الاجسام التي تقع على ابعاد مختلفة ، عندما تنظر اليها بكتا العينين ، لا يمثل بالنسبة لنا ، الدلالة الوحيدة على عمق الفراغ . ان امكانية الحكم على عدم تماثل ابعاد مختلف مخططات اللوحة بالنسبة لنا ، تعتمد الى حد بعيد ، على ما يسمى بـ « المنظور الجوي » . الذي يجعل الاجسام البعيدة ، تبدو امامنا اقل وضوحا ، كأنها ملفّعة بضباب الجو الخفيف .

واذا رسمنا المخططات الاكثر بعدا ، بصورة اقل وضوحا وبالوان فاتحة اكثر ، فان كل ذلك بالاضافة الى الحجم المختلفة ، للاجسام التي تبعد عنا بمسافات مختلفة ، يولد انطباعا عن عمق الفراغ ، بغض النظر عن طريقة مشاهدة اللوحة . وبامكان الرسام ان يخلق ذلك « المنظور الجوي » اذا وحد بين الازياء والالوان الملائمة وبين جلاء الصورة او اللوحة . ويستطيع المصور او الرسام ، ان يحصل على تأثير مماثل ، بواسطة الاختيار المتقن للاضاءة ، واستخدام عدسة ملائمة ، ونوع مناسب من الورق ، يساعد على تنوع الالوان والظلال الى درجة كافية . وللتركيز البؤري الملائم ، اهمية كبيرة في عملية التصوير الفوتوغرافي . فاذا كان المنظر الامامي حاد الملامح ، وكانت المناظر الاخرى ، الاكثر بعدا واقعة « خارج البؤرة » ، يكفي هذا وحده ، في حالات كثيرة ، لاعطاء انطباع عن عمق الفراغ . وعلى عكس ذلك ، عندما نقلل من قطر الفتحة ، تصبح جميع المناظر متساوية من حيث حدة الملامح ، وبهذا تتجرد الصورة عن عمقها وتبدو مسطحة .

وبصورة عامة ، اذا كان الرسام ماهرا ، فانه يستطيع ان يؤثر على المشاهد تأثيرا نفسيا ، يجعله يستوعب الصورة المسطحة مثلما يستوعب الصورة المجسمة ، بغض النظر عن الظروف الفسيولوجية للانطباعات البصرية ، و احيانا حتى عند عدم مراعاة قوانين المنظور الهندسي .

ما هو الاستيريوسكوب ؟

بانتقالنا من الصور الى المواد المجسمة ، نطرح على انفسنا السؤال التالى : لماذا تبدو المواد امامنا ، مجسمة لا مسطحة ؟ ان الصورة المنعكسة على شبكية العين ، هي صورة مسطحة. اذن ما الذى يجعل المواد تبدو امامنا بصورة ثلاثية الابعاد (مجسمة) لا بصورة مسطحة ؟ هناك عدة اسباب تتعلق بهذه المسألة . اولا ، ان درجة الاضاءة المختلفة لاجزاء المواد ، تساعدنا فى الحكم على شكل تلك المواد . وثانيا ، الدور الذى يلعبه التوتر الذى نشعر به عندما نكيف العين لرؤية الاجزاء المختلفة للمادة المجسمة ، التى تبعد عنا بمسافات مختلفة : ان جميع اجزاء الصورة المسطحة ، متساوية البعد عن العين ، بينما تكون اجزاء الصورة المجسمة ، مختلفة البعد عن العين ، ولكى نراها بوضوح ، يجب ان تتكيف العين بشكل مناسب للرؤية . ولكن الامر الذى يقدم لنا خدمة كبيرة هنا ، هو ان صور الجسم الواحد ، المتكونة فى كل عين ، لا تكون متساوية . ويمكن التأكد من ذلك ، اذا نظرنا الى احد الاجسام القريبة ، مرة بالعين اليمنى واخرى بالعين اليسرى ، بصورة متناوبة . ان العينين اليمنى واليسرى ، لا تريان الاجسام بشكل متساو ، اذ ترسم فى كل عين صورة مختلفة ، وهذا الاختلاف ، الذى يفسره عقلنا ، يولد لدينا انطبعا عن التجسيم (لاحظ الشكلين ١٢٠ و ١٢٢) .



شكل ١٢٢ : مكعب زجاجى يحتوى على بقع ، كما يبدو لكل من العينين اليسرى و اليمنى .

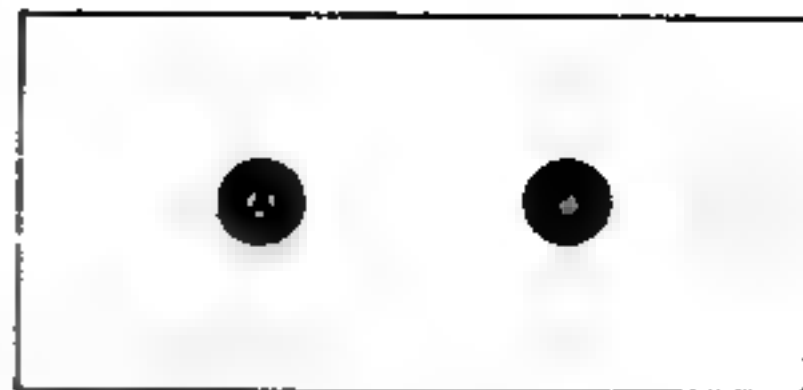
والآن ، لنفرض ان امامنا صورتين لجسم واحد ، الاولى تظهر الجسم كما تراه العين اليسرى ، والاخرى — كما تراه العين اليمنى . فاذا نظرنا الى هاتين الصورتين ، بحيث ترى كل عين الصورة الخاصة بها ، لرأينا بدلا من الصورتين المسطحتين ، صورة واحدة بارزة ومجسمة ، حتى انها تفوق في بروزها ، المواد المجسمة التي نراها بعين واحدة . وتتم مشاهدة مثل هذه الصور المزدوجة بواسطة جهاز خاص هو الاستيريوسكوب . ان اندماج الصورتين كان يتم في الاستيريوسكوبات القديمة ، بواسطة مرايا ، اما في الاستيريوسكوبات الحديثة ، فيتم ذلك بواسطة مواشير زجاجية محدبة ، تكسر الاشعة بحيث عندما نمدّها نظريا الى نهايتها ، فان كلتا الصورتين (وقد اصبحتا مكبرتين قليلا بفضل تحدب الموشور) ، تغطيان بعضهما البعض . ان فكرة الاستيريوسكوب بسيطة جدا كما نرى ، ولكن التأثير الرائع الذي يعطيه هذا الجهاز البسيط ، يثير فينا الدهشة والعجب .

ولعل معظم القراء قد شاهدوا بلا شك ، تلك الصور الاستيريوسكوبية ، ذات المشاهد والمناظر الطبيعية المختلفة . ويحتمل ان يكون بعض القراء الآخرين ، قد شاهدوا في الاستيريوسكوب ، مخططات او رسوم الاجسام ، المعدة لتسهيل تعلم الهندسة المجسمة . وسوف نتكلم فيما بعد ، عن استخدام الاستيريوسكوب في بعض الاغراض المعروفة نوعا ما . وسوف نتناول بالشرح ، بعض مجالات استخدام الاستيريوسكوب ، التي اظن ان كثيرا من القراء لم يطلع عليها .

الاستيريوسكوب الطبيعي

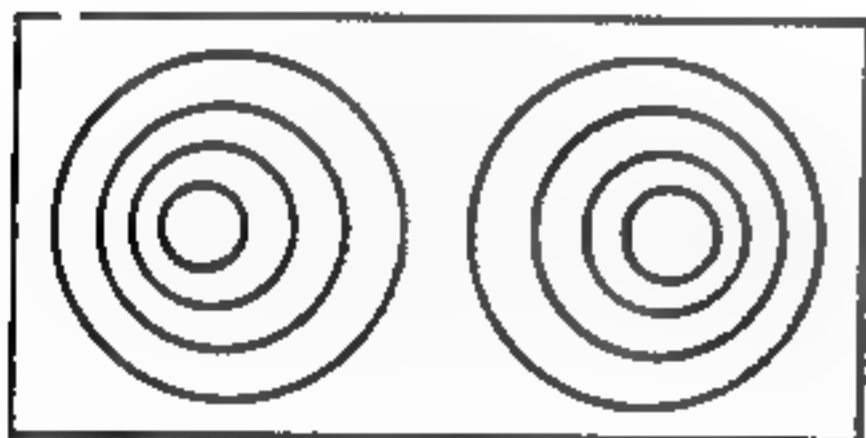
يمكن مشاهدة الصور الاستيريوسكوبية ، دون الاستعانة باى جهاز كان ، وكل ما فى الامر هنا ، ان نعلم انفسنا كيف نوجه اعيننا بطريقة مناسبة . وسنحصل عندئذ على نفس النتيجة ، التي نحصل عليها باستخدام الاستيريوسكوب ، مع فارق واحد فقط ، هو ان الصورة فى هذه الحالة لا تتكبر . ان مخترع الاستيريوسكوب ويتستون ، استخدم

هذه الطريقة الطبيعية بالذات ، في بادئ الامر . وسوف اعرض في هذا البحث ، سلسلة كاملة من الصور الاستيريوسكوبية ، التي تزداد تعقيدا بالتدرج ، وانصح القراء بمحاولة النظر اليها مباشرة ، بدون استيريوسكوب . وسوف ينجح القراء في القيام بذلك ، بعد عدد من التمارين ° .



شكل ١٢٣ : اذا حسنت النظر لمدة ثوان ، في المسافة الموجودة بين النقطتين السوداءين ، فسيبدو لك وكأن النقطتين قد اندمجتا في نقطة واحدة .

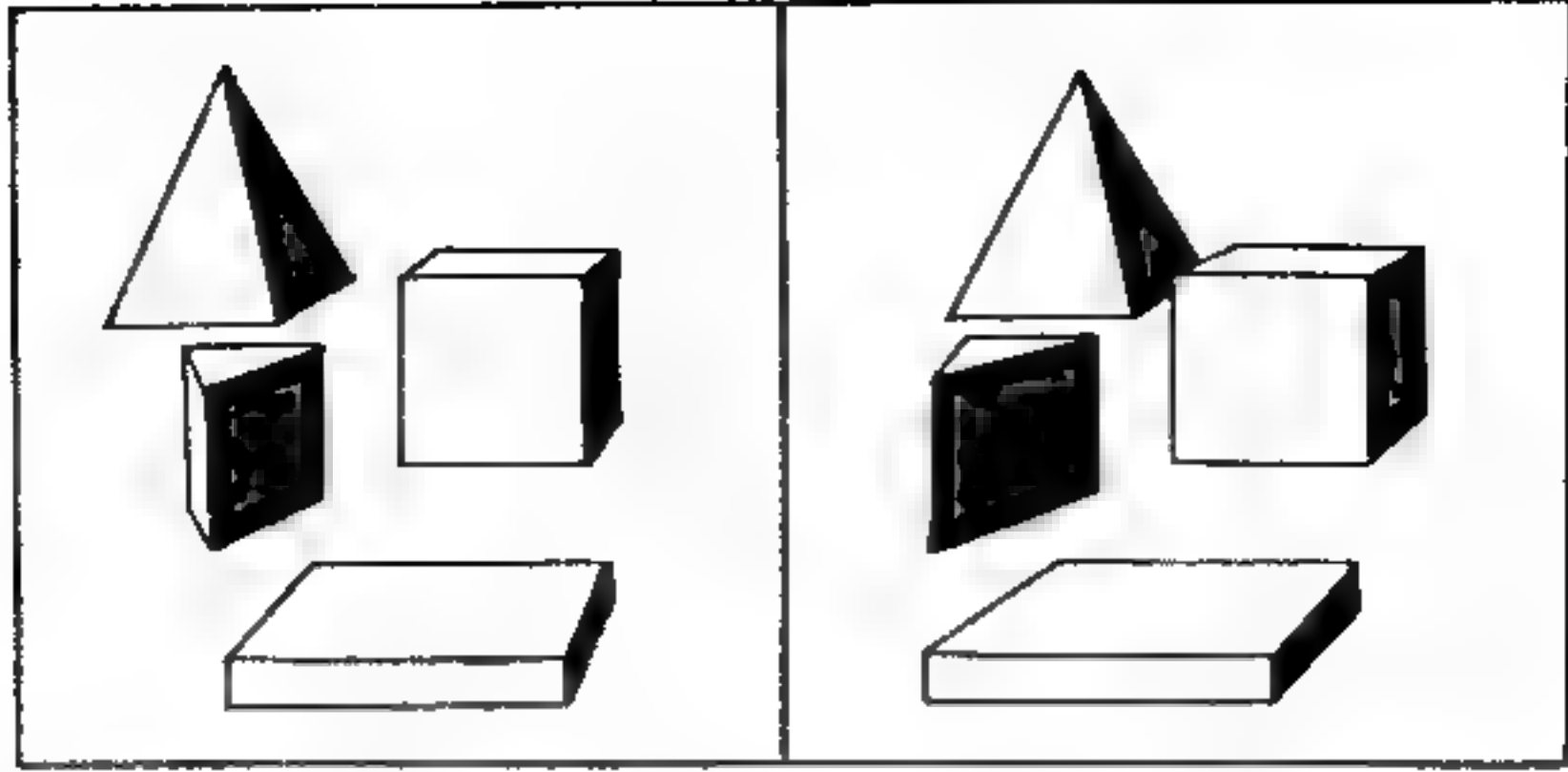
لنبدأ بالشكل ١٢٣ ، الذي يمثل نقطتين سوداوين . ضع النقطتين امام عينيك ، ثم حديق لعدة ثوان في الفراغ الموجود بينهما ، وفي نفس الوقت حاول جهدا ان تنظر الى جسم يفترض انه موجود بعيدا وراء الشكل . وسوف ترى عاجلا . ان هناك اربع نقط بدلا من نقطتين ، اى ان النقطتين تضاعفتا . ولكن بعدئذ تبتعد النقطتان الطرفيتان



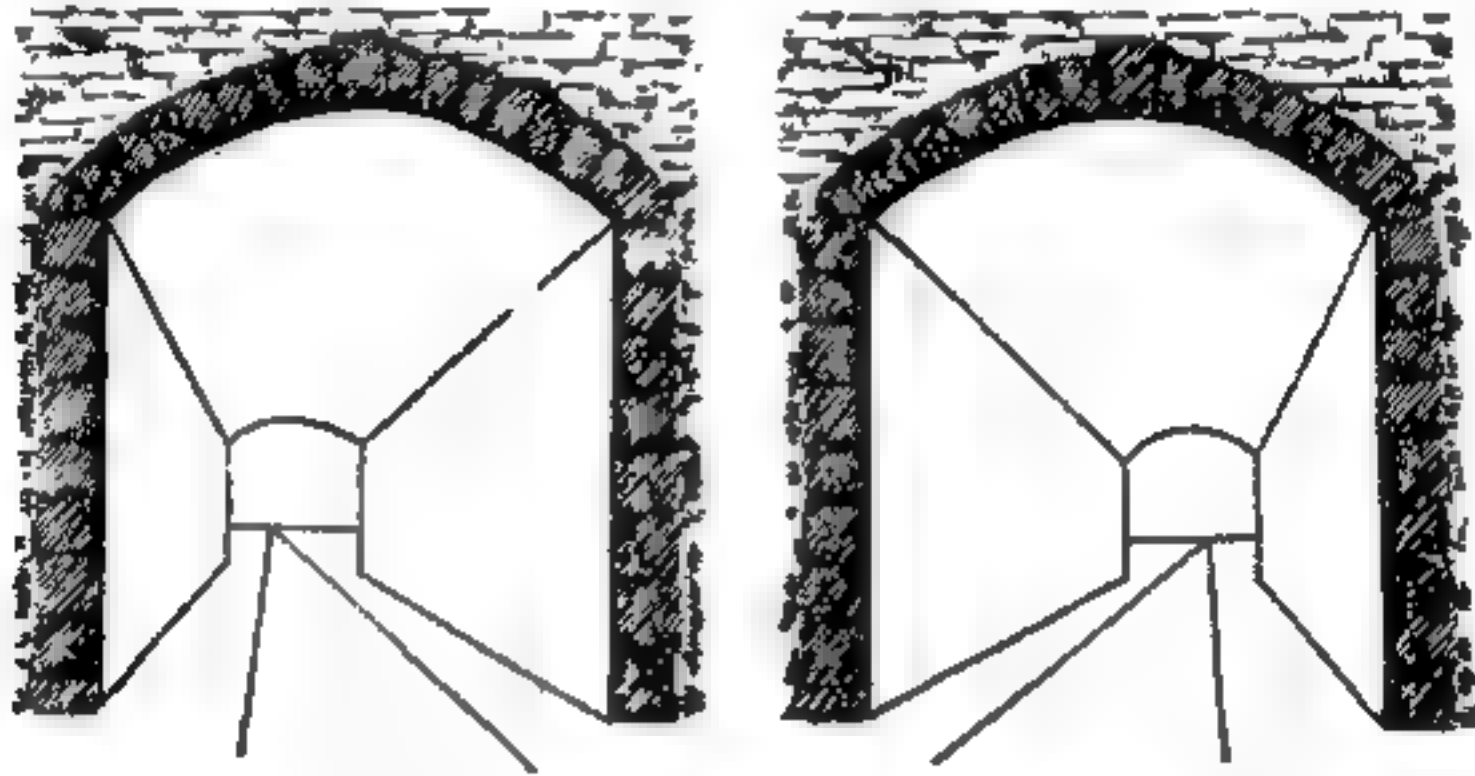
شكل ١٢٤ : انصر الى هذين الحلزونين بنفس الطريقة السابقة . وبعد ان ترى اليهما قد اندمجا في حلزون واحد ، انتقل الى التمرين الذي يليه .

شكل ١٢٥ : عندما يتدمج هذان الشكلان ، سترى شيئا يشبه باطن الماسورة الممتدة الى مسافة بعيدة .

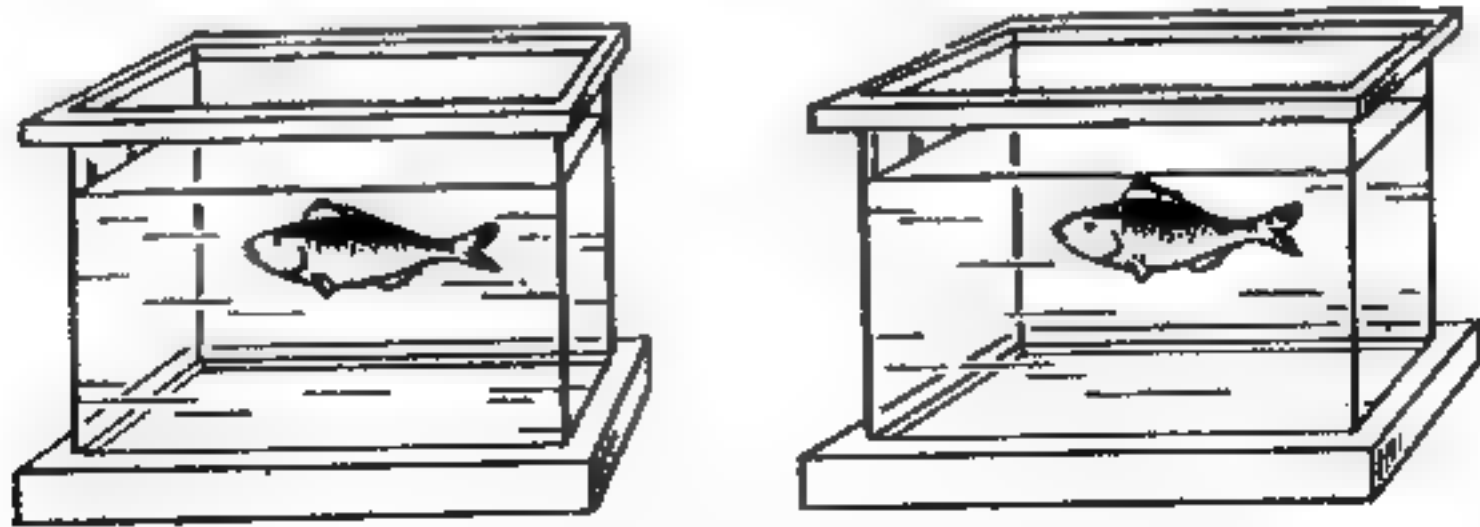
* يجب ان ننبه القراء الى ان القدرة على النظر استيريوسكوبيا - وحتى النظر في الاستيريوسكوب - لا تتوفر لدى كافة الناس ، لان بعضهم (مثل الحول او المعتادين على العمل بعين واحدة) ليست لهم قابلية على ذلك بالمرّة . وتظهر هذه القابلية عند الآخرين بعد تماويل مستمرة ، واخيرا ، فبالنسبة لقسم الناقى من الناس ، وهم على الاغلب من الشباب ، فمنهم يتعلمون ذلك بسرعة - في ظرف ربع ساعة .



شكل ١٢٦ : عندما تندمج هذه الاجسام الهندسية الشكل . تصبح وكأنها معلقة في الهواء .



شكل ١٢٧ : عندما يندمج هذان الشكلان، تظهر امام العين صورة دهليز (ممر) طويل جدا.



شكل ١٢٨ : سمكة صغيرة في سحوض الاسماك .

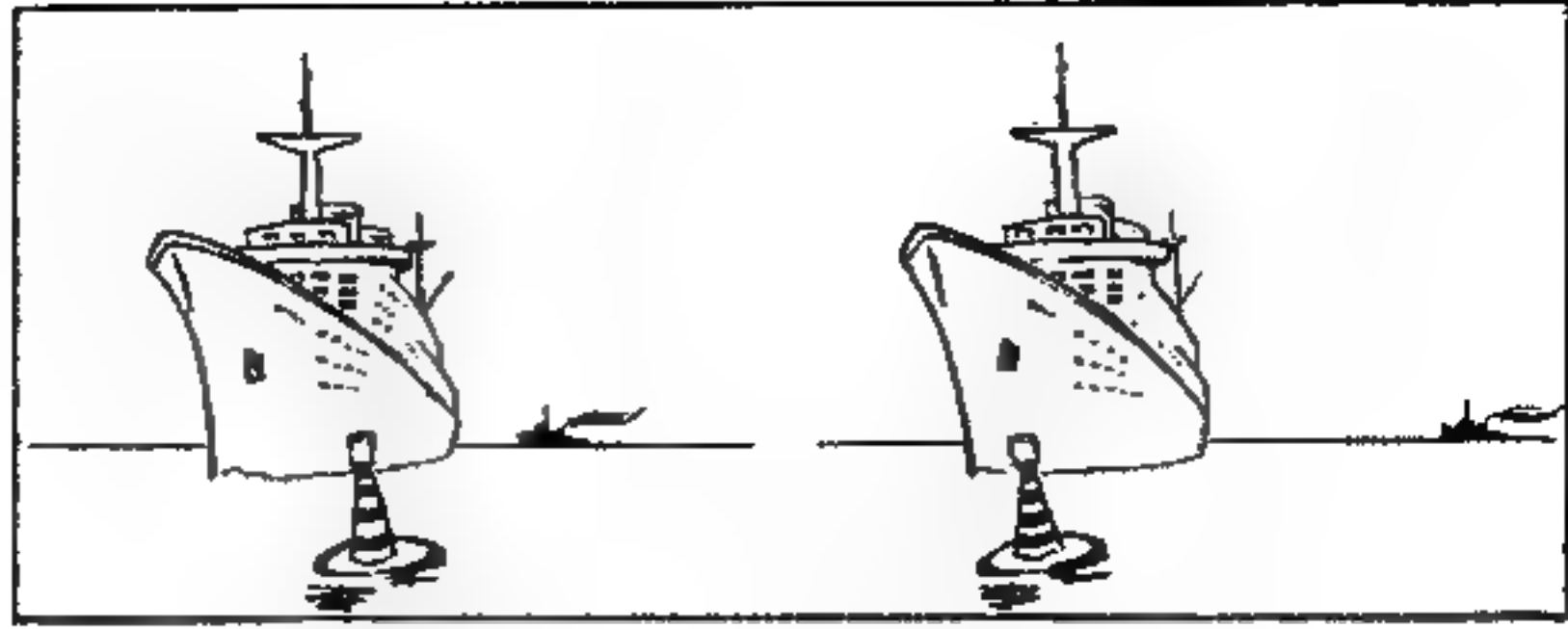
بعيدا ، بينما تقترب النقطتان الداخليتان من بعضهما ، ثم تندمجان في نقطة واحدة .
واذا اعدت نفس التجربة ، مستخدما الشكلين ١٢٤ و ١٢٥ ، فسوف ترى في الحالة
الاخيرة ، وفي لحظة الاندماج ، ان امامك منظرا داخليا لمسورة طويلة ، تمتد الى مسافة
بعيدة .

وبعد الانتهاء من ذلك ، تستطيع الانتقال الى الشكل ١٢٦ ، وهنا يجب ان تظهر
امامك اجسام هندسية معلقة في الهواء : اما الشكل ١٢٧ ، فيظهر امامك مثل ممر
طويل لبناية حجرية ، او نفق . اما في الشكل ١٢٨ ، فتستطيع التمتع بمنظر الزجاج
الشفاف في حوض الاسماك . واخيرا تبدو امامك في الشكل ١٢٩ ، لوحة كاملة - منظر
طبيعي للبحر .

ان تعلم هذه الطريقة للنظر المباشر الى الصور المزدوجة ، هو امر سهل نوعا ما .
وقد اتقن الكثير من اصديقائي هذا الفن ، في مدة قصيرة من الزمن ، بعد عدد قليل من
المحاولات . وباستطاعة الاشخاص المصابين بقصر النظر او بعد النظر ، الذين يستعملون
النظارات ، ان يشاهدوا هذه الصور ، دون ان يتزعوا نظاراتهم ، مثلما يشاهدون اية
لوحة اخرى . حاول ان تقرب الصور او تبعدا عن ناظريك ، الى ان تجد المسافة
المناسبة . وعلى كل حال ، لا بد من اجراء التجربة بوجود اضاءة جيدة - لان ذلك
يحقق النجاح الى درجة كبيرة .

وبعد تعلم النظر الى الرسوم المبينة هنا ، بدون استيريو سكوب ، يمكنك الاستفادة
من هذه الخبرة المكتسبة ، عندما تريد مشاهدة الصور الاستيريو سكوبية بصورة عامة ،
بدون استخدام جهاز خاص . ويمكن كذلك القيام بمحاولة النظر الى تلك الصور
الاستيريو سكوبية المبينة فيما بعد (على الصفحتين ٢٢٤ و ٢٣٢) ، وذلك بالعين المجردة .
ولا ضرورة للولع الشديد بهذه التمارين ، لان ذلك يتعب العين .

واذا لم يحالفك الحظ على اكتساب قابلية التحكم في عينيك ، فيمكنك عند عدم
توفر الاستيريو سكوب ، ان تستخدم عدستي النظارة الخاصة ببعد البصر ، ويجب تثبيتهما



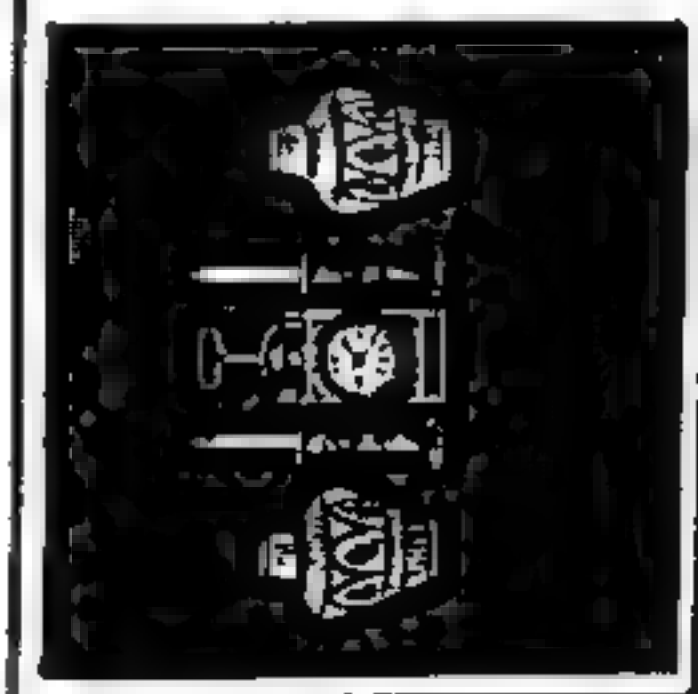
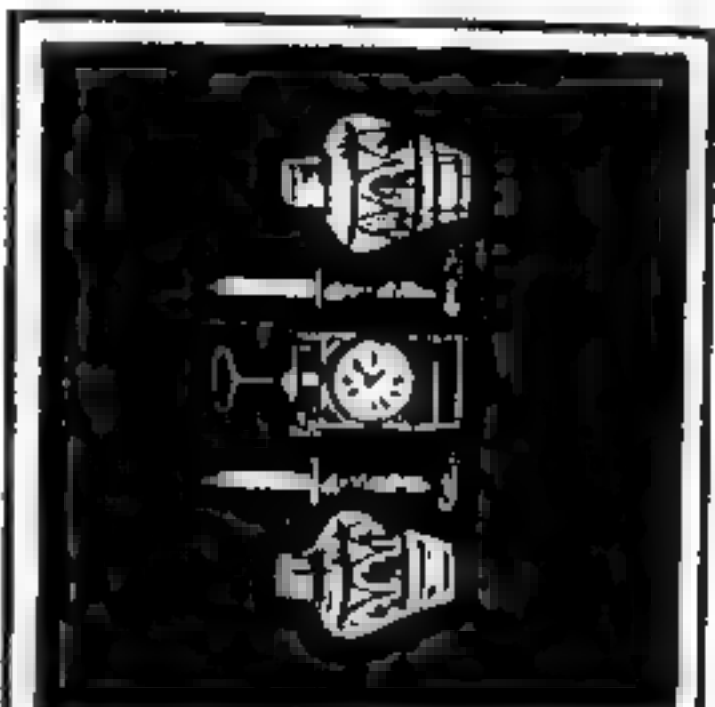
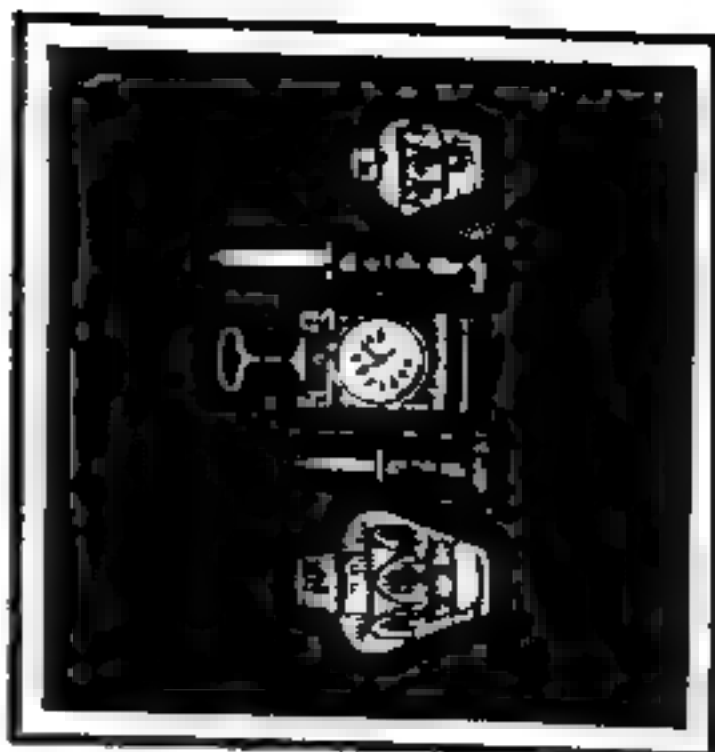
شكل ١٢٩ : صورة استيريو سكوبية (مجسمة) لمنظر طبيعي للبحر .

تحت فتحة محفورة في قطعة من الورق المقوى ، بحيث يمكن النظر من خلال الحافة الداخلية للعدستين فقط ، ويجب ان نضع بين الصورتين حاجزا ما . وسوف يساعدك هذا الاستيريو سكوب البسيط ، على بلوغ الهدف تماما .

بعين واحدة وبأثنتين

يبين الشكل ١٣٠ (في الزاوية اليسرى العليا) صورتين لثلاث قنات زجاجية ، تبدو كأنها متساوية الحجم . ومهما ركزنا انتباهنا عند النظر اليها ، فلن نجد اى اختلاف فى حجوم تلك القناني . بينما يوجد هناك اختلاف كبير جدا ، فى حجوم القناني المذكورة . والقناني تبدو امامنا متساوية ، لسبب واحد فقط ، هو وقوعها على مسافة مختلفة من العين او من آلة التصوير ، اذ ان القنينة الكبيرة ، ابعد من القنيتين الصغيرتين . ولكن اى القناني الثلاث اقرب ، وايها ابعد ؟ لا يمكن ان نجيب على هذا السؤال ، بمجرد النظر الى الصور .

ولكن المسألة تصبح سهلة الحل ، اذا لجأنا الى استخدام الاستيريو سكوب ، او الابصار الاستيريو سكوبى ، بدون استخدام اى جهاز ، كما ذكرنا سابقا . عندئذ سوف نرى بوضوح ، ان القنينة الموجودة فى أقصى اليسار ، هي ابعد بكثير من القنينة



الوسطى ، التى تكون بدورها ابعد من القنينة اليمنى . والنسبة الحقيقية بين حجوم القناني
الثلاث ، مبينة فى الصورة الواقعة فى الزاوية اليمنى العليا من الشكل .

وتوجد فى اسفل الشكل ١٣٠ ، حالة اخرى تدعو الى مزيد من العجب . نرى
فى الشكل ، الى اليسار ، صورتين تظهر فى كل منهما مزهريتان وشمعتان وساعة واحدة ،
ويبدو ان المزهريتين متشابهتان وكذلك الشمعتين ، تشابها تاما . وفى الحقيقة ، هناك
اختلاف كبير بين كل زوج منهما ، من حيث الحجم : ان المزهرية اليسرى ،
اطول من اليمنى بمرتين تقريبا ، اما الشمعة اليسرى ، فهى اخفض من الساعة ومن الشمعة
اليمنى بكثير . وعندما ننظر الى نفس الصور استيريوسكوبيا ، نجد فى الحال سبب
هذا التغير : ان تلك المواد ليست موضوعة فى صف واحد ، ولكنها موضوعة على مسافات
مختلفة ، بحيث وضعت الكبيرة منها ، بعيدا ، اما الصغيرة فوضعت قريبا .
وهنا تبدو ، بشكل مقنع جدا ، افضلية الابصار الاستيريوسكوبى « بعينين » ،
على الابصار « بعين واحدة » .

طريقة سهلة للكشف عن التزوير

لدينا شكلان متشابهان تماما . وهما مربعان اسودان متساويان . وعندما ننظر
اليهما بواسطة الاستيريوسكوب ، نرى مربعا واحدا ، لا يختلف باى شئ ، عن كل
من المربعين على حدة . فاذا وجدت فى مركز كل مربع ، نقطة بيضاء ، فانها ستظهر
بالطبع على المربع الذى سنراه فى الاستيريوسكوب . ولكننا اذا ازحنا النقطة الموجودة على
احد المربعين ، ازاحة قليلة عن المركز ، فسوف نتج من ذلك ظاهرة غير متوقعة نوعا
ما : ستظهر فى الاستيريوسكوب كالسابق ، نقطة واحدة . ولكنها لا تقع على نفس
المربع بالذات ، بل امامه او ورائه . وان وجود اى اختلاف طفيف بين المربعين ،
يكفى لاعطاء انطباع عن عمق الرسم ، عندما ننظر اليه بواسطة الاستيريوسكوب .
وهذا يزودنا بطريقة بسيطة ، لاكتشاف تزوير الاوراق والوثائق المصرفية . وكل
ما يتطلبه الامر ، ان نقوم بوضع الورقة النقدية المشكوك فيها ، الى جانب الورقة النقدية

الحقيقية ، فى داخل الاستيريوسكوب ، وعندما ننظر اليهما ، فسوف نكتشف التزوير حالا ، مهما كان المزور بارعا فى فنه : ان اى اختلاف طفيف يطرأ على حرف واحد او على شرطة واحدة ، سيتضح للعين فى الحال لان ذلك الحرف او تلك الشرطة ، سيظهران اما امام الورقة النقدية او خلفها * .

الابصار عند المعاينة

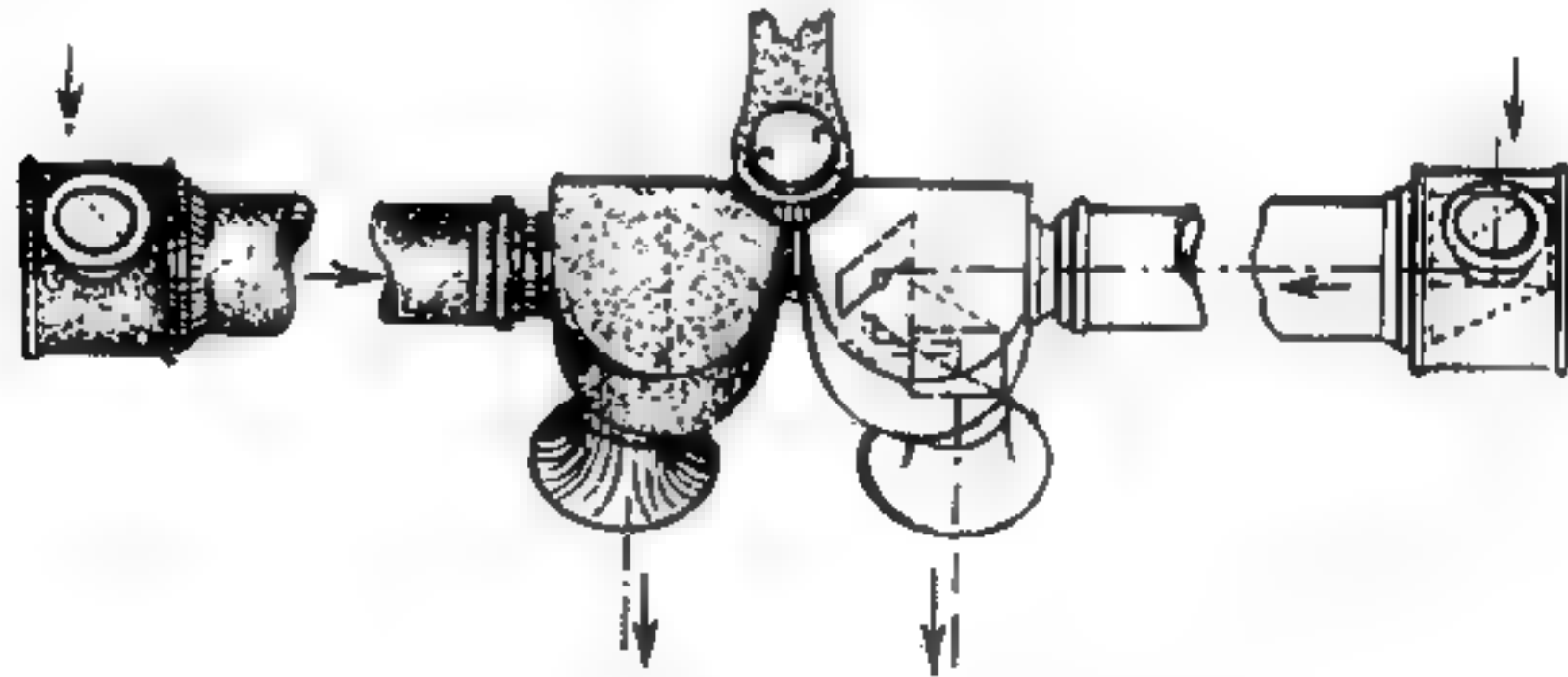
عندما يكون الجسم واقعا على مسافة بعيدة جدا منا ، تزيد على ٤٥٠ م ، لا يكون للمسافة الموجودة بين عينينا ، اى تأثير على تفاوت الانطباعات البصرية . ولهذا السبب ، تبدو المباني البعيدة ، والجبال والمناظر الطبيعية النائية ، امامنا بهيئة مسطحة . ولهذا السبب بالذات ، تبدو كافة النجوم والكواكب وكذلك القمر وكأنها تقع على مسافة واحدة ، فى حين ان الاخير اقرب بكثير من الكواكب ، والكواكب بدورها اقرب من النجوم الثابتة ، الى درجة لا تقاس .

وبصورة عامة ، ليست لنا قابلية لتمييز بروز كافة الاجسام الواقعة على مسافة تزيد على ٤٥٠ م ، لانها تبدو امام العينين اليمنى واليسرى بصورة متماثلة . ذلك لان المسافة التى تفصل العينين عن بعضهما ، ومقدارها ٦ سم ، تكون ضئيلة جدا ، عند مقارنتها بمسافة قدرها ٤٥٠ م . ومن الواضح ان الصور الاستيريوسكوبية ، الناتجة فى مثل هذه الظروف ، تكون متماثلة تماما ، ولا يمكن ان تعطى فى الاستيريوسكوب ، صورة بارزة (مجسمة) .

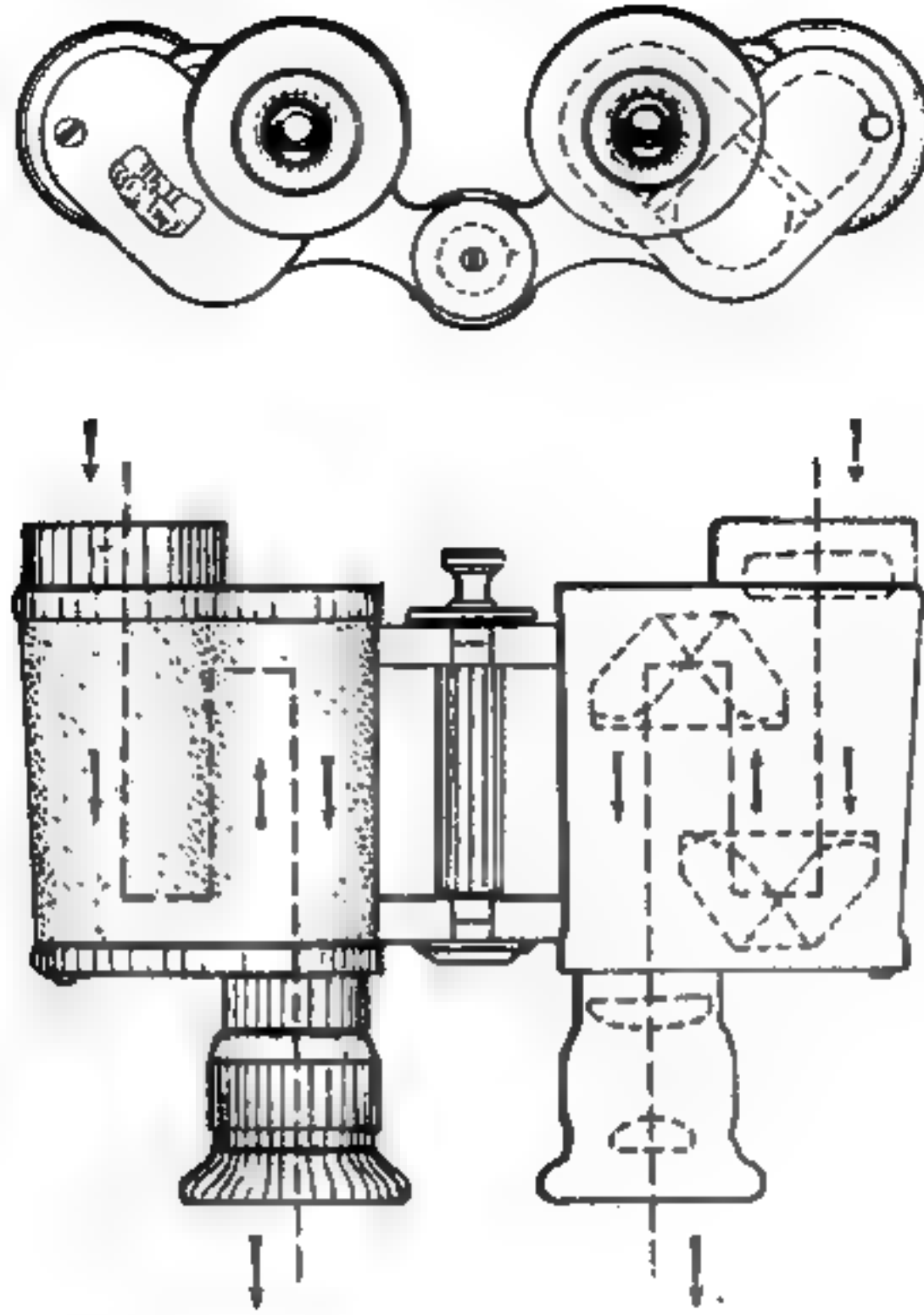
* ان هذه الفكرة التى اتى بها العالم دوفيه لاول مرة فى منتصف القرن التاسع عشر ، لا تصلح للتطبيق بالنسبة لكافة الاوراق النقدية المتداولة فى الوقت الحاضر ، ذلك لان هذه الاوراق تصطبغ بصورة تكتيكية حديثة ، بحيث لا تعطى الرسوم الناتجة ، عندما ننظر اليها بواسطة الاستيريوسكوب ، اى انطباع عن الصورة المسطحة ، حتى اذا كانت كلتا الورقتين النقديتين حقيقيتين . ولكن طريقة « دوفيه » ، ملائمة جدا لغرض التمييز بين مسودتين مطبوعتين لصفحة من كتاب ، عندما تطبع احدهما من حروف مركبة من جديد .

ولكن يمكن تدارك الامر ، اذا صورتنا الاجسام البعيدة من نقطتين ، يكون البعد المتبادل بينهما ، اكبر من المسافة الطبيعية بين العينين . وعند النظر الى مثل هذه الصور في الاستيريوسكوب ، نرى المنظر الطبيعي ، في الوضعية التي كنا سنراه فيها لو كانت المسافة التي بين عينينا ، اكبر كثيرا مما هي عليه في العادة . وهنا يكمن سر الحصول على صور استيريوسكوبية للمناظر الطبيعية . وعادة ينظر الى هذه الصور من خلال مواشير مكبرة (معدبة الجوانب) ، بحيث كثيرا ما تظهر تلك الصور الاستيريوسكوبية البارزة امامنا بحجمها الطبيعي ، ويكون تأثيرها مذهشا .

ومن المحتمل ان يكون القارئ قد ادرك ، انه من المعقول صنع جهاز يتكون من ابوين بصريين ، يمكن من خلالهما رؤية المنظر الطبيعي المعين وهو بارز كما هو عليه في الطبيعة ، لا في الصورة . ان مثل هذه الاجهزة - انايب الابصار الاستيريوسكوبية - موجودة في الواقع ، ويتكون كل جهاز من ابوين ، تفصلهما مسافة اكبر من المسافة الطبيعية الموجودة بين العينين ، وتسقط كلتا الصورتين على شبكيتي العينين ، بواسطة مواشير عاكسة (شكل ١٣١) . ومن الصعب وصف الشعور الذي ينتاب الانسان ، عندما ينظر في مثل هذه الاجهزة البصرية . انها عجيبة حقا ! اذ اننا نرى ان الطبيعة قد بدلت مظهرها . فالجبال البعيدة تصبح بارزة ، والاشجار والصخور والمباني والسفن التي في البحر ، كلها تظهر بصورة مجسمة وبارزة ، وقد امتدت في



شكل ١٣١ : منظار استيريوسكوبي .



شكل ١٣٢ : منظار موشوى .

فضاء رجب لا نهاية له . ونرى مباشرة كيف تتحرك السفينة البعيدة ، التى تبدو ساكنة عندما ننظر اليها بمنظار عادى . وبهذا الشكل ، تبدو المناظر الطبيعية الارضية امامنا ، مثلما يراها العمالقة . الذين نسمع عنهم فى القصص الخرافية .

واذا كانت قوة تكبير الانبوين هي ١٠ مرات ، والمسافة بين العدسات تزيد على المسافة الطبيعية بين الحدقتين بمقدار ٦ مرات (اى تساوى $6 \times 6 = 36$ سم) ، فستكون الصورة المرئية اكبر حجما بمقدار $10 \times 6 = 60$ مرة ، مما هي عليه عند النظر بالعين المجردة . حتى ان الاجسام التى تبعد بمقدار ٢٥ كم عن المشاهد ، تبدو واضحة البروز .

وبالنسبة لمساحي الارض والبحارة ورجال المدفعية والسياح ، تكون هذه الانابيب البصرية عظيمة الفائدة وخاصة اذا كانت مزودة بجهاز تعيين المدى الذي يمكن بواسطته تقدير المسافات . ان المنظار الموشوري كذلك ، يعطى نفس التأثير لان المسافة بين عدستيه اكبر من المسافة الطبيعية بين العينين (شكل ١٣٢) . ويكون الامر معكوسا ، في لمناظير المستخدمة في المسارح ، حيث تكون المسافة المذكورة اصغر مما هي عليه في الحالة السابقة ، وذلك كي تظهر الديكورات المسرحية بالشكل الملائم .

الكون في الاستيريوسكوب

اذا وجهنا انبوب الابصار الاستيريوسكوبي ، نحو القمر او نحو اى كوكب او نجمة ، فاننا سوف لانرى اية تضاريس هناك . وهذا هو المتوقع . اذ ان الابعاد او المسافات الكونية ، هائلة جدا حتى بالنسبة لانبوب الابصار الاستيريوسكوبي . وبعد ، فان المسافة التى تفصل بين عدستى الانبوب المذكور ، والتى تتراوح بين ٣٠ و ٥٠ سم ، هى غير ذات قيمة ، بالنسبة للمسافة بين الارض والكواكب الاخرى . واذا استطعنا صنع جهاز ، تكون المسافة بين انبويه ، مقاسة حتى بعشرات او بمئات الكيلومترات ، فانه سوف لا يعطى اى تأثير عند مراقبة الكواكب ، التى تبعد عنا بعشرات الملايين من الكيلومترات .

وهنا نستعين مرة اخرى بالتصوير الاستيريوسكوبي . لنفرض اننا صوّرنا امس احد الكواكب ، ثم اعدنا تصويره اليوم ثانية . ان كلتا الصورتين ستلتقطان من نقطة واحدة على سطح الارض ، ولكن من نقاط مختلفة بالنسبة للمنظومة الشمسية لان الارض خلال ذلك اليوم ، تكون قد قطعت اثناء دورانها ، ملايين الكيلومترات . وهكذا ، فان الصورتين بطبيعة الحال ، سوف لا تكونان متماثلتين . واذا نظرنا الى مثل هذه الصور بعد وضعها داخل الاستيريوسكوب ، فستظهر امامنا عندئذ ، صور مجسمة مسطحة .

اذن ، يمكننا استخدام حركة الارض حول مدارها ، للحصول على صور للكواكب ،

مأخوذة من نقطتين تفصلهما مسافة بعيدة للغاية ، وسوف تكون هذه الصورة ، بمثابة صور استيريو سكوبية . اذا تصورنا وجود عملاق له رأس كبير جدا ، بحيث تكون المسافة الواقعة بين عينيه ، مقلدة بملايين الكيلومترات ، ستدرك عندئذ قيمة النتائج المدهشة التي يتوصل اليها الفلكيون باستخدام التصوير الاستيريو سكوبي .

وعندما ننظر الى الصور الاستيريو سكوبية للقمر ، فانا نرى جباله واضحة المعالم وبارزة الى درجة ، جعلت بإمكان العلماء قياس ارتفاعاتها .

ويستخدم الاستيريو سكوب في الوقت الحاضر لاكتشاف كواكب جديدة ، وخاصة الكواكب الصغيرة (الكويكبات) ، التي تدور بأعداد كبيرة ، بين مدارى المشتري والمريخ . وفي الماضي القريب ، كان اكتشاف احد تلك الكويكبات ، يعتبر عملا من قبيل الصدف السعيدة . اما الآن ، فيكفى ان نقارن بين صورتين استيريو سكوبيتين ، لمنطقة معينة من السماء ، تم التقاطهما في موعدين مختلفين ، كي نجد الكويكب في الحال فيما اذا كان موجودا في تلك المنطقة من السماء . اذ انه سيكون متميزا عن بقية الاجرام السماوية .

ويمكن بواسطة الاستيريو سكوب معرفة الاختلاف بين مواقع الاجرام السماوية ، وكذلك الاختلاف في سطوعها . وهذا يضع امام الفلكي ، طريقة سهلة ومريحة لاكتشاف ما يسمى بالنجوم المتغيرة ، التي تغير من سطوعها بصورة دورية . فاذا ظهر في صورتين فلكيتين ، ان نجما ما قد بدا غير متماثل السطوع ، فان الاستيريو سكوب يظهر للفلكي في الحال ، موقع ذلك النجم المتغير السطوع .

واخيرا ، امكن الحصول على صور استيريو سكوبية للسديم (اندروميد واريون) . ولما كانت المنظومة الشمسية صغيرة جدا بالنسبة لالتقاط مثل هذه الصور ، فقد استفاد الفلكيون من حركة انتقال منظومتنا الشمسية بين النجوم ، للقيام بعملية التصوير . اذ انه بفضل هذه الحركة في الفضاء الكوني ، نستطيع دائما رؤية النجوم الكونية من نقاط ابصار تتجدد مواقعها باستمرار . وبمرور فترة زمنية كافية ، يصبح هذا الاختلاف واضحا ، حتى بالنسبة لآلة التصوير الفوتوغرافي . وبقيامنا بالتقاط صورتين ، تفصلهما فترة زمنية طويلة ، يمكننا عندئذ ان ننظر اليهما بواسطة الاستيريو سكوب .

الابصار بثلاث عيون

سيندهش القارئ عندما يقرأ هذا العنوان ويتساءل : الابصار بثلاث عيون ؟ ١
وهل باستطاعة الانسان الحصول على عين ثالثة ؟

تصور اننا ستحدث عن امكانية الابصار بهذا الشكل . ان العلم لا يستطيع تزويد الانسان بعين ثالثة ، ولكنه يستطيع ان يجعلنا نرى الجسم ، كما لو كنا في الحقيقة ، ننظر اليه بثلاث عيون .

نشير في بداية الحديث ، الى ان باستطاعة الاعور مشاهدة الصور الاستيريوسكوبية ، والحصول منها على انطباع عن بروجها ، لا يمكنه الحصول عليه مباشرة في الحياة العادية . ولهذا الغرض ، يجب ان نعرض على الشاشة ، صورا مخصصة للعينين اليمنى واليسرى ، بحيث تحل احداها محل الاخرى بسرعة . اذ ان الشيء الذي يراه صاحب العينين في وقت واحد ، يراه الاعور هنا ، بالتالى ويتغير سريع . ولكن النتيجة تكون واحدة لان الانطباعات البصرية السريعة التغير ، تندمج ايضا في شكل واحد ، كالانطباعات الحاصلة في وقت واحد * .

واذا كان الامر كذلك ، فان باستطاعة الشخص الذى له عينان ، ان يرى في وقت واحد ما يلى : عند الابصار بعين واحدة ، يرى صورتين متغيرتين بسرعة ، ويرى بالعين الاخرى صورة ثالثة ، ملتقطة من نقطة ابصار ثالثة .

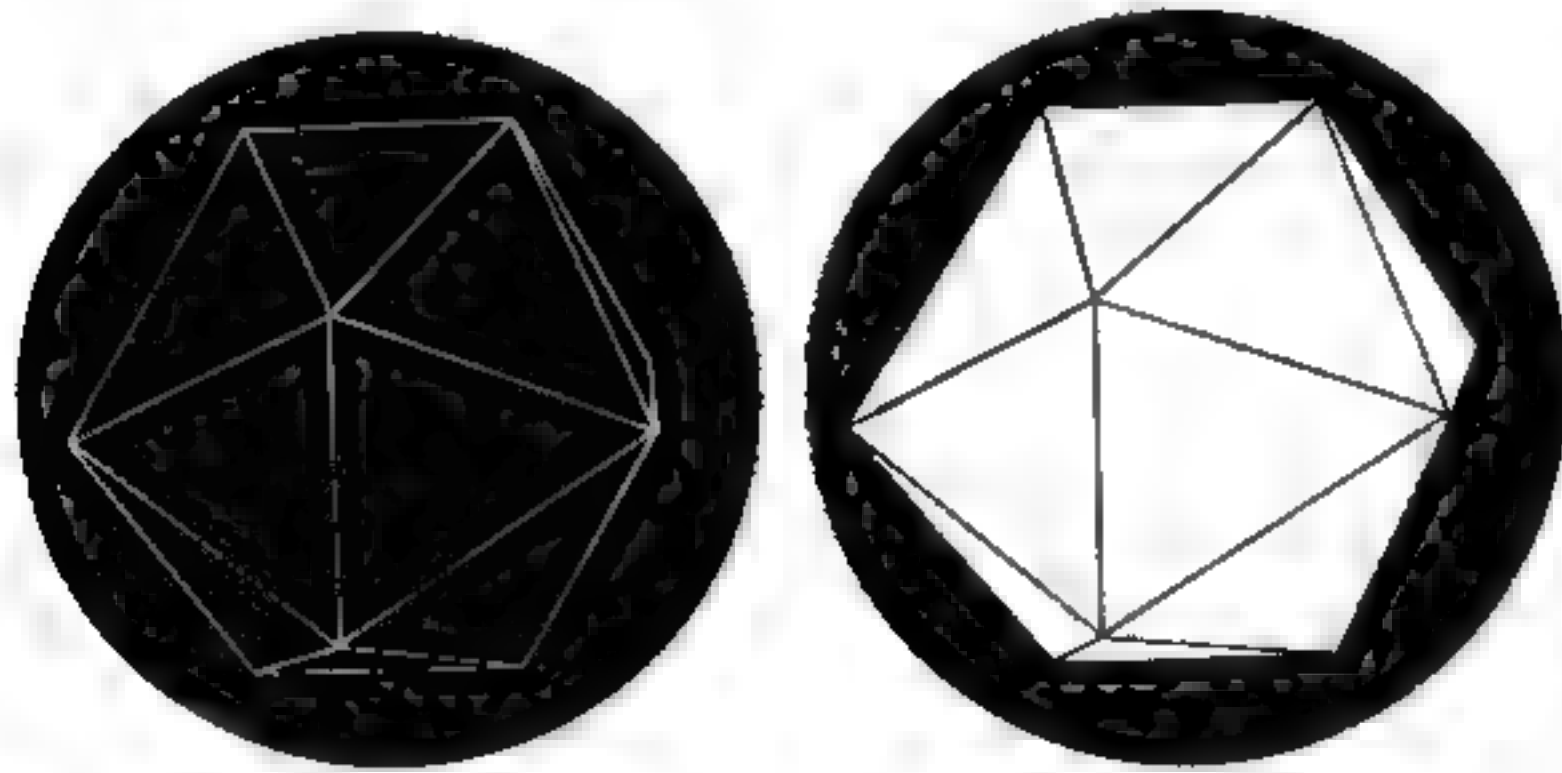
وبعبارة اخرى ، تتكون للجسم الواحد ثلاث صور ، تتناسب مع ثلاث نقاط مختلفة ، كما لو كانت تلك النقاط هي ثلاث عيون بشرية . ثم تقوم صورتان من هذه الصور ، بتغيرها السريع ، بالتأثير على عين واحدة من عيني المراقب . وعند التغير

* ان ذلك التجسيم المدهش للافلام السينمائية ، الذى نراه فى بعض الاحيان ، يمكن ان يعود الى هذا السبب ، بالاضافة الى الاسباب المذكورة اعلاه . فاذا اهتزت آلة العرض السينمائية اهتزازا بسيطا اثناء عرض الفيلم (كما يحدث فى الغالب ، نتيجة لتشغيل آلية تدوير الشريط) ، تكون الصور غير متطابقة ، وعند تغير الصور السريع على شاشة السينما ، فانها تندمج فى عقلنا بهيئة مجسمة .

السريع ، تتوحد الانطباعات التي تعطيها ، وتشكل صورة مجسمة واحدة . وينضم الى هذه الصورة ، انطباع ثالث ؛ ناتج عن العين الاخرى ، التي تنظر الى الصورة الثالثة . وفي هذه الظروف ، بالرغم من اننا ننظر بعينين اثنتين فقط ، الا اننا نحصل على انطباع يشابه تماما ، الانطباع الذي كنا سنحصل عليه لو نظرنا بثلاث عيون . ويكون التجسيم في هذه الحالة على درجة عالية من الجودة .

ما هو اللبعض ؟

ان الصورتين الاستيريوسكوبيتين المبيتين في الشكل ١٣٣ ، تمثلان جسمين متعددي السطوح : الاول اسود اللون موضوع على سطح ابيض ، والآخر ابيض اللون موضوع على سطح اسود . ماذا عسانا ان نرى ، لو نظرنا الى هاتين الصورتين بواسطة الاستيريوسكوب ؟ من الصعب التكهن بذلك مسبقا . لنقرأ ما كتبه هيلمهولتز : « عندما يكون احد سطوح الصورة الاستيريوسكوبية ، ابيض اللون ، والسطح الآخر اسود ، فان الصورة الموحدة تبدو لامعة ، حتى اذا طبعت على ورق اكميد (عاتم) . ان المخططات الاستيريوسكوبية لنماذج البلور (المجهزة بهذا الشكل) تحدث لدى



شكل ١٣٣ : بريق استيريوسكوبي . باندماج هذين الشكلين عند النظر اليهما بالاستيريوسكوب ، تتكون صورة بلورة ساطعة على خلفية سوداء .

المشاهد انطباعا ، كما لو كان النموذج مجهزا من الجرافيت اللامع . وبفضل هذه الطريقة ، تظهر المياه والاوراق في الصور الاستيريوسكوبية ، أكثر لمعانا .
وفي الكتاب القديم المسمى : « فسيولوجيا اعضاء الحس - الابصار » الذى الفه العالم الفسيولوجى الروسى العظيم سيجينوف (عام ١٨٦٧) ، نجد تفسيراً رائعاً لهذه الظاهرة :

« فى تجارب التوحيد - الدمج - الصناعى للسطوح المختلفة الاضاءة او التلوين ، تتكرر الظروف الحقيقية لابصار الاجسام اللامعة . وفى الواقع ، بماذا يختلف السطح الاكمد عن السطح اللامع - الصقيل - ؟ ان السطح الاكمد يعكس الضوء ويشتهه فى كافة الجهات ، ولذلك يبدو للعين على الدوام ، منتظم الاضاءة ، بغض النظر عن الجهة التى ننظر منها اليه . اما السطح اللامع ، فيعكس الضوء فى جهة معينة فقط ، ولذلك يحتمل ان تصل الى احدى عيني الانسان الذى ينظر الى مثل هذا السطح ، كمية كبيرة من الاشعة المنعكسة ، بينما لا تصل الى العين الثانية اية كمية من الاشعة (وهذه الظروف تنطبق بصورة خاصة على حالة الاندماج الاستيريوسكوبى للسطح الابيض مع السطح الاسود) . اما حالات عدم انتظام توزيع الضوء المنعكس على عيني المراقب (اى الحالات التى تكون فيها كمية الضوء الواصلة الى احدى العينين ، اكبر من الكمية الواصلة الى العين الاخرى) عند النظر الى السطوح اللامعة الصقيلة ، فلا بد من حدوثها .

وهكذا يرى القارئ ، ان اللعان الاستيريوسكوبى ، هو بمثابة برهان للنظرية القائلة بان الخبرة تلعب الدور الرئيسى فى عملية الاندماج الجسمانى للاشكال . ويخضع الصراع بين مجالات الابصار للتصورات الراسخة ، فورا ، حالما تعطى للجهاز البصرى المجرب ، امكانية نسب الاختلاف ، الى حالة معروفة من حالات الابصار الحقيقى .
وهكذا ، فان سبب رؤية اللعان (على الاقل احد الاسباب) ، يعود الى عدم تساوى وضوح الصورتين اللتين نراهما بكل من العينين اليمنى واليسرى . ولولا وجود الاستيريوسكوب ، لما كان فى استطاعتنا معرفة هذا السبب الا بصعوبة بالغة .

الابصار اثناء الحركة السريعة

لقد ذكرنا سابقا ، بان الصور المختلفة للجسم الواحد بالذات ، تتوحد في العين اثناء التغير السريع وتخلق انطبعا بصريا عن وجود البروز .

وهنا نطرح السؤال التالي : هل يحدث هذا عندما تشاهد العين الساكنة ، الصور المتحركة فقط ، ام يحدث كذلك ، عندما تكون الصور ساكنة والعين متحركة بسرعة ؟

نعم ، ان التأثير الاستيريوسكوبي هو نفسه في كلتا الحالتين . ومن المحتمل ان يكون الكثير من القراء قد لاحظ ان الصور السينمائية الملتقطة من قطار سريع ، تظهر بشكل مجسم وبارز لا يقل روعة عن الشكل الذي نحصل عليه في الاستيريوسكوب . ويمكننا التأكد من ذلك بانفسنا ، اذا انتبهنا جيدا الى الانطباعات البصرية التي تتكون لدينا عند السفر في قطار سريع او سيارة . ان المناظر الطبيعية التي نراها في تلك الحالة ، تتميز بتجسيمها ، وبانفصال خلفية المنظر عن اماميته انفصالا واضحا . ويزداد الاحساس بعمق المنظر ، ويزداد مدى الابصار الاستيريوسكوبي حتى يتجاوز بكثير ، تلك المسافة القصوى للابصار الاستيريوسكوبي بالنسبة للعين الساكنة ، والتي تقدر بـ ٤٥٠ م .

ولكن هل يكمن في ذلك ، سر الانطباع الممتع ، الذي يحدثه في انفسنا ، ذلك المنظر الطبيعي الذي نشاهده من نافذة القطار السريع ؟ ان المدى يزداد اتساعا ، ونستطيع ان نميز عظمة المناظر الطبيعية المحيطة بنا بكل وضوح . وعندما نجتاز احدى الغابات بسرعة ، نرى - لنفس السبب السابق - ان كل شجرة وكل غصن وورقة ، تبدو امامنا محددة بوضوح في الفراغ ، وهي منفصلة عن بعضها وليست مدمجة في صورة واحدة ، كما تبدو للمراقب الساكن . وعند السفر السريع على طريق جبلي ، نرى التضاريس الارضية مباشرة بالعين ، وتبدو امامنا الجبال والوديان بانسجام محسوس . وسوف يتولد لدى الناس الذين لهم عين واحدة شعورا جديدا لم يعرفوه قبل ذلك . وقد ذكرنا سابقا ، انه بالنسبة لابصار الاجسام بشكل بارز ، لا تكون هناك ضرورة بالمرّة ، كما يعتقد الناس عادة ، للنظر الى الصور المختلفة بكلتا العينين في وقت واحد . ان الابصار

الاستيريو سكوبى ، يتم كذلك بعين واحدة ، اذا كانت الصور المختلفة تندمج ، عند تغييرها بسرعة كافية • .

ومن السهل جدا التحقق مما ذكرناه. ولقيام بذلك يجب علينا فقط ، ان نتبه قليلا الى اننا نرى الاشياء المذكورة ونحن نجلس فى عربة القطار او فى السيارة . وعند ذلك ، من المحتمل ان يلاحظ القارئ ، ظاهرة اخرى عجيبة ، كتب عنها العالم دوفيه قبل مائة عام (حقا ، ان ما ننساه تماما ، نعتبره بعدئذ شيئا جديدا) ، ما يلى : ان الاجسام القريبة ، التى تمر امام النافذة بسرعة خاطفة ، تظهر لنا اصغر مما هى عليه فى الواقع . وتفسر هذه الحقيقة ، بسبب ليس له الا صلة بعيدة بالابصار الاستيريو سكوبى ، وهو على وجه الخصوص ، اننا عندما نرى الاجسام المتحركة بسرعة كبيرة ، نعتقد خطأ بانها قريبة منا . وعندما تناقش المسألة بدون وعى ، نقول : اذا كان الجسم قريبا منا ، فيجب ان يكون فى الطبيعة ، اصغر مما هو عليه عادة ، ليظهر بالحجم الذى يتراءى لنا دائما . وهذا هو التفسير الذى جاء به العالم هيلمهولتز .

من خلال النظارة الملونة

اذا نظرنا من خلال زجاج أحمر اللون ، الى كتابة بالخط الاحمر على ورقة بيضاء ، فسوف لا نرى سوى خلفية مستوية حمراء اللون . ولن نستطيع العثور على اى اثر للكتابة ، لان الحروف الحمراء تندمج مع الخلفية الحمراء . واذا نظرنا من خلال نفس الزجاج ، الى كتابة بالخط الازرق على ورقة بيضاء ، فسوف نرى بوضوح ، حروفا سوداء على ورقة حمراء . من اين أنت الحروف السوداء ؟ من السهل ادراك ذلك ، اذا علمنا ان الزجاج الاحمر لا يمرر الاشعة الزرقاء (وهو احمر اللون لانه لا يمرر سوى الاشعة

• وهذا سبب ذلك التجسيم الواضح للصور السينمائية ، اذا كانت ملتقطة من قطار متحرك يسير على خط منحنى ، وكانت الاشياء التى يجرى تصويرها واقعة داخل الخط المنحنى . ان «تأثير السكة الحديدية» الذى تحدثنا عنه هنا ، معروف جيدا لدى المصورين السينمائيين .

الحمراء) . وهكذا ، فبدلاً من رؤية الأشعة الزرقاء ، تلمس عدم وجود الضوء ، أى ترى حروفاً سوداء .

إن التأثير الناتج عن الصور المسماة بالصور الاناغليفية - وهى صور مطبوعة بطريقة خاصة ، وتعطى نفس التأثير الذى تعطيه الصور الاستيريوسكوبية - مبنى على أساس الخاصية المذكورة للزجاج الملون . وفى الصور الاناغليفية ، تؤخذ كلتا الصورتين المطابقتين للعينين اليسرى واليمنى ، وتطبعان أحدهما فوق الأخرى ، ولكن بلونين مختلفين هما الأزرق والأحمر .

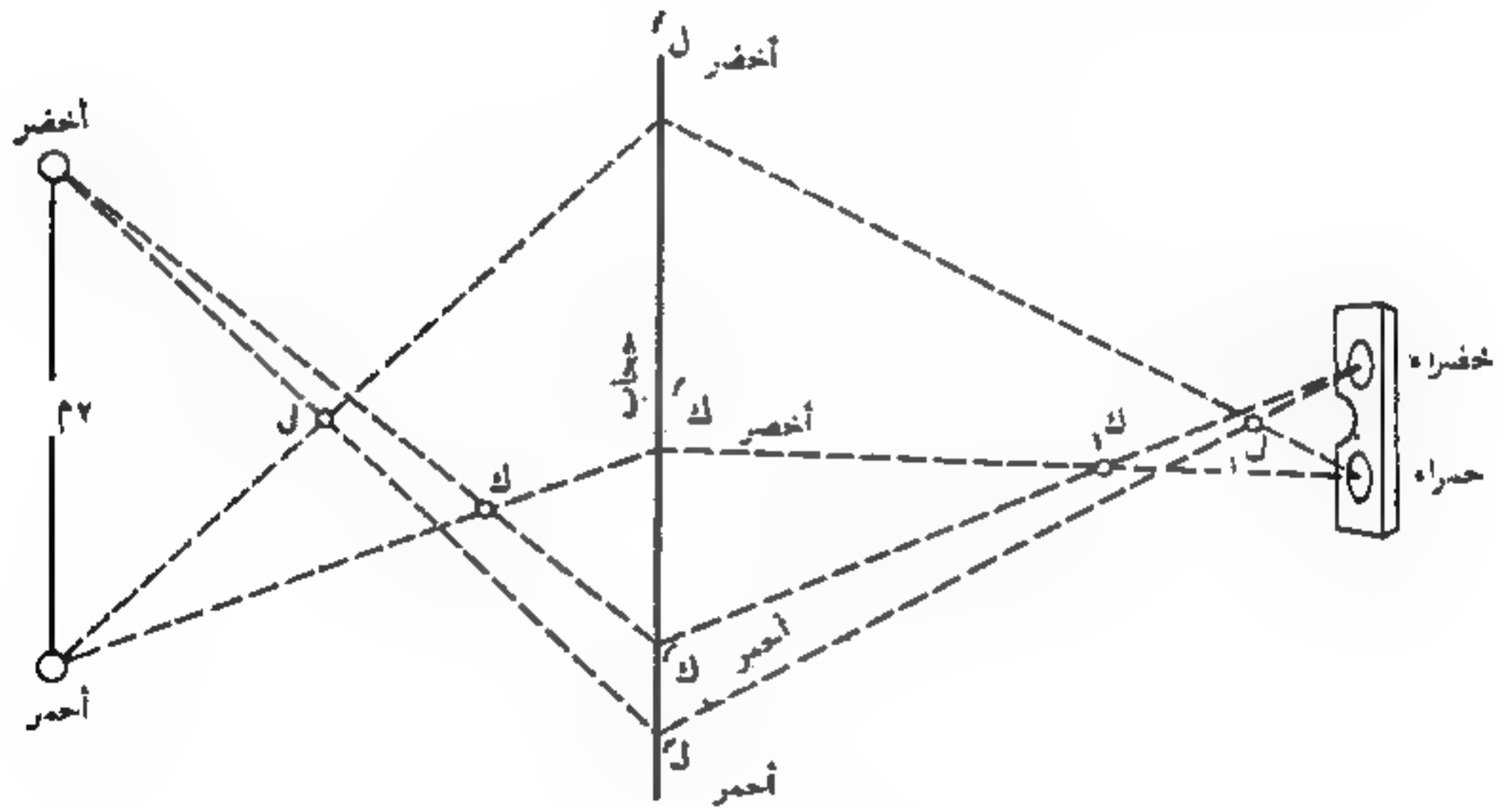
ولكى نرى بدلاً من الصورتين الملونتين ، صورة واحدة سوداء ومجسمة ، يكفى أن ننظر إليهما من خلال نظارة ملونة . إن العين اليمنى لا ترى من خلال الزجاج الأحمر سوى الصورة الزرقاء ، أى الصورة التى تناسب العين اليمنى بالذات (ولا تبدو للعين ملونة ، بل سوداء) . أما العين اليسرى فلا ترى من خلال الزجاج الأزرق سوى الصورة الحمراء المناسبة لها . إن كل عين لا ترى سوى صورة واحدة فقط ، هى الصورة التى تناسبها بالذات . ونرى هنا نفس الحالة التى نراها فى الاستيريوسكوب . وبالتالي ، يجب أن تكون النتيجة متماثلة أيضاً ، أى يجب أن تبدو الصورة مجسمة .

«عجائب الظلال»

إن تأثير «عجائب الظلال» التى ظهرت فى وقت ما على شاشة السينما ، مبنى على نفس المبدأ الذى شرحناه الآن . وتتلخص «عجائب الظلال» ، فى أن ظلال الأجسام المتحركة ، التى تسقط على الشاشة ، تبدو للمشاهدين (الذين يضعون على أعينهم نظارات بلونين) على هيئة نماذج مجسمة ، تبرز بوضوح أمام الشاشة . ويتم الحصول على الصور فى هذه الحالة ، بالاستفادة من تأثير الاستيريوسكوبية (المجسامية) ذات اللونين . يوضع الجسم المراد عرض ظله على المشاهدين ، بين الشاشة وبين مصدرين للضوء ، موضوعين بالقرب من بعضهما ، أحدهما أحمر والآخر أخضر . ويظهر على الشاشة عندئذ ،

ظلال ملونان - احمر واخضر ، يغطيان بعضهما البعض جزئيا . ولا ينظر المشاهدون الى تلك الظلال بصورة مباشرة ، بل من خلال نظارات ، تكون زجاجاتها مسطحة وذات لونين ، احمر واخضر .

وقد اوضحنا الآن ، انه تتكون في هذه الحالة ، صورة لنموذج مجسم ، يبرز امام الشاشة . وتكون الصورة التي نحصل عليها بواسطة « عجائب الظلال » ، مسلية للغاية . اذ يبدو احيانا ، ان الجسم المقلد يتجه تماما نحو المشاهد ، او يبدو احد العناكب العملاقة وهو يسير في الهواء متجها نحو المشاهدين ، الامر الذي يجعلهم يصرخون دون ارادتهم ويديرون وجوههم . ان هذا الجهاز بسيط جدا ، كما يتضح من الشكل ١٣٤ ، حيث يبدو كل من المصباحين الاحمر والاخضر الى يسار الشكل ، ويمثل الحرفان ل وك ، الجسمين الموضوعين بين المصباحين والشاشة . اما الحرفان ل' وك' مع الاشارة الى اللون ، فيمثلان الظلال الملونة للجسمين ، كما تظهر على الشاشة ، ويمثل الحرفان



شكل ١٣٤ : سر « معجزات الظلال » .

ل_١ و ك_١ ، المحلّين ، اللذين يظهر فيهما الجسمان ، للمشاهد الذى ينظر اليهما من خلال الزجاجتين الملونتين ، المخضراء والحمراء ، الظاهرتين الى يمين الشكل المذكور . وعندما يتحرك العنكبوت الموجود وراء الشاشة من النقطة ك الى النقطة ل ، يبدو للمشاهد انه يتحرك من النقطة ك_١ الى النقطة ل_١ .

وبصورة عامة . كلما اقترب الجسم الموجود وراء الشاشة ، من مصدر الضوء ، كلما عمل على تكبير الظل الساقط على الشاشة ، وبذلك يجعل المشاهد يتصور بان الجسم يتحرك من الشاشة ، متجها نحوه . ان كل جسم يبدو للمشاهد كانه يطير نحوهم ، متجها اليهم من الشاشة ، يتحرك فى الواقع باتجاه معاكس - من الشاشة الى مصدر الضوء الموجود وراءها .

التغير المفاجئ للالوان

من الملائم هنا ان نتحدث عن سلسلة من التجارب ، التى نالت اعجاب زوار « جناح العلوم المسلية » فى المتزه المركزى العام لمدينة لينينغراد . وقد نظم احد اركان ذلك الجناح ، على هيئة غرفة استقبال . وكانت هذه الغرفة تحتوى على اثاث باغطية برتقالية داكنة ، وعلى منضدة مغطاة بغطاء اخضر اللون ، وضع عليها دورق زجاجى يوجد فيه شراب التوت البرى وانواع من الورد ، وهناك رف رتب عليه الكتب ، التى خُطت على اغلفتها كتابات ملونة . وتناثر الغرفة فى بادئ الامر ، بالانارة الكهربائية ذات اللون الابيض العادى . وعندما يستبدل الضوء الابيض بضوء احمر ، يحدث فى الغرفة تغير مفاجئ . اذ يصبح لون الاثاث ورديا ، ويتحول لون الغطاء الاخضر الى لون بنفسجى داكن ، ويصبح الشراب عديم اللون مثل الماء ، اما الورد فتتغير الوانها تماما ، كما يختفى قسم من الكتابة الموجودة على غلافات الكتب ، دون ان يترك اى اثر ... ثم تضاء الغرفة بضوء اخضر . وهنا تتبدل معالم الغرفة مرة اخرى ، تبدا كليا . ان كل هذه التحولات المسلية ، توضح لنا بصورة جيدة ، نظرية نيوتن المتعلقة بالوان الاجسام . ويتلخص جوهر هذه النظرية ، فى ان سطح الجسم يتلون دائما بلون الاشعة

التي يبعثرها ، وليس بلون الاشعة التي يمتصها ، اى انه يظهر بلون الاشعة التي يوجهها نحو عين المراقب . وقد قام العالم الفيزيائي الانكليزي البارز جون تندال ، بوضع الصيغة التالية للحالة المذكورة :

« عندما نضيء الجسم بالضوء الابيض ، فان الضوء الاحمر يتكون نتيجة لامتصاص الاشعة الخضراء ، ويتكون اللون الاخضر نتيجة لامتصاص الاشعة الحمراء ، بينما تظهر بقية الالوان في كلتا الحالتين ، بعد التحميص . وهذا يعنى ، ان الاجسام تكتسب الوانها بطريقة سلبية ، لان اللون لا يتج عن اضافة ، بل يتج عن حذف » .

اذن ، يكون للغطاء الاخضر ، لون اخضر عند وجود الضوء الابيض ، لان للغطاء المذكور قابلية جيدة لتشتيت الاشعة الخضراء والاشعة الملاصقة لها في الطيف الشمسى اما قابليته لتشتيت بقية الاشعة ، فتكون ضعيفة ، لانه يمتص اكبر جزء من هذه الاشعة . واذا سلطنا على مثل هذا الغطاء ، مزيجا من الاشعة الحمراء والبنفسجية ، فان الغطاء سوف لا يشتت تقريبا ، الا الاشعة البنفسجية وحدها ، بينما يمتص اكبر جزء من الاشعة الحمراء . عندئذ تشاهد العين لونا بنفسجيا داكنا .

وهذا هو تقريبا ، نفس السبب الذى يؤدى الى تغير الالوان فى غرفة الاستقبال . والشيء الذى يبقى محيرا ، هو اختفاء لون الشراب : لماذا اصبح السائل الاحمر ، عديم اللون ، عند اضاءة النور الاحمر ؟ ان السبب يتلخص فى ان الدورق المحتوى على الشراب : موضوع على ورقة بيضاء مفروشة على الغطاء الاخضر . فاذا رفعنا الدورق عن الورقة البيضاء ، فاننا سنجد فى الحال ، ان السائل لا يبدو عديم اللون فى الضوء الاحمر ، بل احمر . ويكون السائل عديم اللون فى حالة واحدة ، هى عندما يوضع الدورق بالقرب من الورقة البيضاء ، التي تصبح حمراء عند اضاءة النور الاحمر . ولكننا مع ذلك ، نراها بيضاء ، لتعودنا على هذا الامر ، ونتيجة للتباين مع الغطاء الملون الداكن . ولما كان لون السائل الموجود فى الدورق ، مشابها للون الورقة ، الابيض الموهوم ، فاننا بدون ارادة ، نرى شراب التوت البرى بلون ابيض . ولهذا ، فانه لا يبدو امام اعيننا مثل شراب التوت البرى ، بل يبلو مثل الماء عديم اللون .

ويمكن اجراء مثل هذه التجارب المذكورة اعلاه ، بصورة مبسطة ، ولقيام بذلك يكفي الحصول على قطع زجاجية ملونة لكي ننظر من خلالها الى الاشياء المحيطة بها .

ارتفاع الكتاب

اطلب من ضيفك ان يقدّر لك باصبعه على الحائط ، كم يبلغ ارتفاع الكتاب الذى بين يديه ، اذا وضعناه على الارض بصورة عمودية . وعندما يفعل ذلك ، ضع الكتاب على الحائط بالفعل ، وسترى ان الارتفاع الذى قدره ضيفك ، هو ضعف ارتفاع الكتاب تقريبا !

وتكون التجربة اكثر نجاحا ، اذا لم ينحن ضيفك عند قيامه بتقدير الارتفاع ، بل يكتفى بالاشارة الى ذلك الموضع من الحائط ، الذى يعتقد انه يوازي ارتفاع الكتاب ، لنوضع عليه علامة . ومن البديهي ، اننا نستطيع القيام بالتجربة المذكورة ، مستخدمين اشياء اخرى عدا الكتاب ، مثل المصباح والقبعة وغير ذلك من الحاجيات التى اعتدنا ان نراها قريبا من مستوى النظر فى العادة .

ويكمن سر الخطأ عند تقدير الارتفاع ، فى ان كافة الاشياء تصبح اقصر مما هى عليه ، اذا نظرنا اليها بامتداد حافاتها الطويلة .

ابعاد ساعة البرج

ان الخطأ الذى ارتكبه ضيفك عند تقديره لارتفاع الكتاب ، نرتكبه نحن ايضا بصورة دائمية ، عندما نقدر ابعاد الاشياء الموجودة على ارتفاع كبير . والخطأ الذى نرتكبه عند تقديرنا لابعاد ساعة البرج ، هو خطأ مميز بصورة خاصة . ونحن نعرف بالطبع ، ان مثل هذه الساعة ، تكون كبيرة الحجم جدا ، ومع ذلك . فان تقديرنا



شكل ١٣٥ : حجم ساعة برج ويستمينستر (بج بن) .

لحجمها يقل كثيرا عما هو عليه في الحقيقة . ويبين الشكل ١٣٥ ، ميناء ساعة برج ويستمينستر (بج بن) المشهورة في لندن ، عندما انزل من محله ووضع على قارعة الطريق .

ان الانسان يبدو بحجم الحشرة الصغيرة ، عند مقارنته بحجم ذلك الميناء الضخم . وعندما ننظر الى برج الساعة الذي يبدو من بعيد ، فاننا لن نصدق بان حجم الفتحات الظاهرة في البرج ، يساوى حجم الساعة المذكورة .

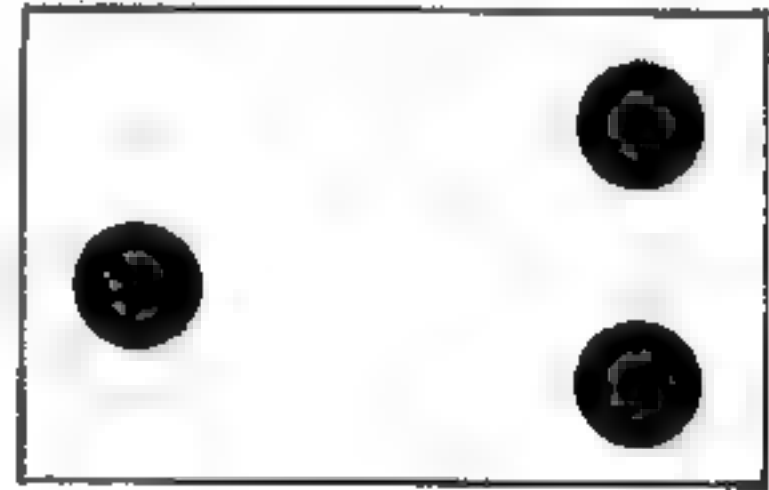
ابيض واسود

انظر من بعيد الى الشكل ١٣٦ ، ثم اذكر عدد الاقراص السوداء ، التى يمكن وضعها فى الفراغ الموجود بين القرص الايسر واحد القرصين الموجودين فى الجهة اليمنى -- اربعة اقراص ام خمسة ؟ ستكون الاجابة على الاغلب ، بانه يمكن وضع اربعة اقراص ببساطة ، اما ما يتبقى من الفراغ ، فلن يتسع للقرص الخامس .

واذا قيل لك بان الفراغ المذكور ، لا يتسع لاكثر من ثلاثة اقراص بالضبط ، فانك سوف لا تصدق ذلك . خذ ورقة او فرجارا ، وتأكد من ذلك بنفسك .

ان هذه الخدعة العجيبة ، التى تبدو الاقراص السوداء طبقا لها ، اصغر من الاقراص البيضاء التى لها نفس الحجم ، تسمى : « الاشعاع » . وهى تعتمد على عدم كمال العين البشرية ، التى تعتبر كجهاز بصرى ، ولا تتلاءم تماما مع الشروط القاطعة التى يجب توفرها فى الاجهزة البصرية . ان اوساط الانكسار فى العين ، لا تطبع على الشبكية رسوما محيطية حادة الملامح ، كذلك التى نراها على الزجاج المسنفر لآلة التصوير المضبوطة جيدا . ونتيجة لما يسمى بالزيف الكروى ، يحاط كل رسم محيطى فاتح اللون ، بحاشية نيرة ، تعمل على زيادة ابعاده ، عند وقوعه على شبكية العين . وبالنسبة ، فان الاقسام الفاتحة اللون ، تبدو لنا دائما ، اكبر من الاقسام السوداء المساوية لها .

ونقدم الى القراء فيما يلى ، بعض ما جاء فى « نظرية الالوان » للشاعر الالماني العظيم جوته ، الذى كان ملاحظا دقيقا جدا للظواهر الطبيعية (مع انه لم يكن على الدوام بالباحث الفيزيائى النظرى الدقيق) : « ان الجسم المعتم يبدو اصغر من الجسم النير (الفاتح) ، الذى



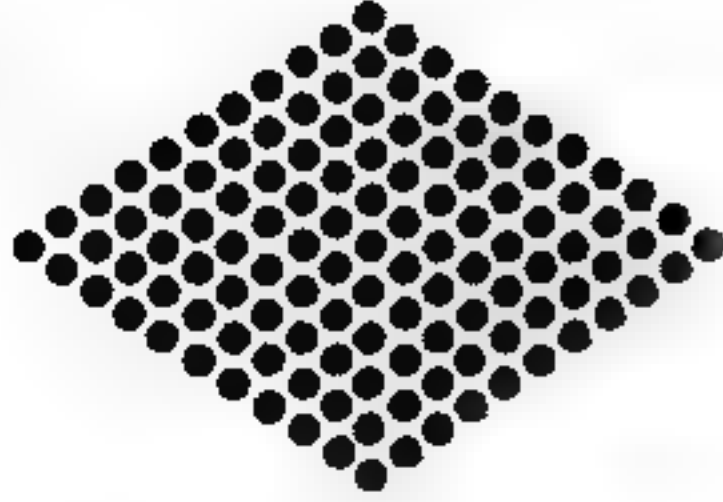
شكل ١٣٦ : ان امتداد الفراغ الموجود بين القرص الايسر وكل من لقرصين الموجودين فى الجهة اليمنى ، يبدو اكبر من المسافة بين الحافات الخارجية للقرصين الموجودين فى الجهة اليمنى . اما فى الواقع فان بعدين المذكورين متساويان .

يساويه في الحجم ، فإذا نظرنا في وقت واحد ، الى قرص ابيض موضوع على سطح اسود ، والى قرص اسود بنفس القطر ، موضوع على سطح ابيض ، فان القرص الاسود يبدو لنا اصغر من القرص الابيض بمقدار $\frac{1}{2}$ مرة تقريبا . واذا كبرنا القرص الاسود طبقا للمقدار المذكور ، عندئذ نرى القرصين بحجم متساو . ان هلال القمر يبدو لنا في اول الشهر وكأنه يحيط بدائرة اكبر قطرا من الدائرة التي تشع فيها بقية الاجزاء المعتمدة من القمر ، والتي تبدو احيانا متميزة ، في مثل هذه الحالة (الضياء الرمادي للقمر - بيريلمان) . ان الانسان يبدو في الملابس السوداء ، انحف مما يبدو في الملابس الفاتحة الالوان . ان الضوء القادم من وراء حافات الجسم ، يبدو وكأنه يقطع ذلك الجسم . ان المسطرة ، التي ينبعث من ورائها لهب الشمعة ، تبدو وكأنها تحتوى على ثلثة في ذلك الموضع . والشمس عند شروقها وغروبها ، تحدث ما يشبه التجويف في الافق .

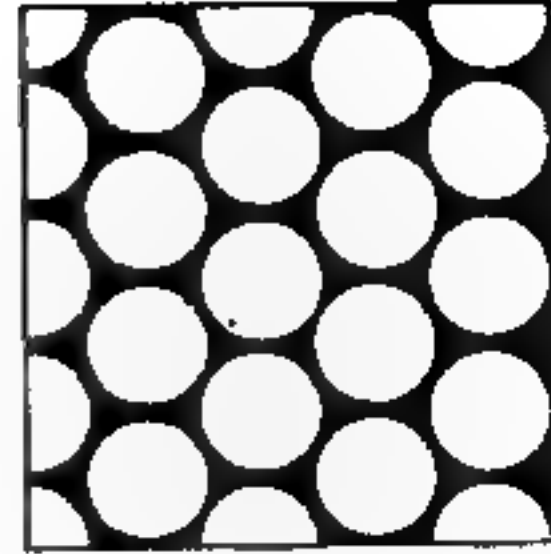
ان كل ما جاء في تلك الملاحظات ، يعتبر صحيحا ، ما عدا التأكيد بان القرص الابيض يبدو وكأنه اكبر من القرص الاسود الذي يماثله ، بنفس ذلك المقدار الجزئى دائما . ان الزيادة تعتمد على المسافة التي ينظر منها الى تلك الاقراص . والآن ، يتضح لنا لماذا يكون الامر بهذا الشكل .

نبعد الشكل ١٣٦ ، الى مسافة بعيدة عن العين ، فنرى ان الخدعة تصبح اكثر تأثيرا واكثر مدعاة للدهشة . ان هذا يفسر بان عرض الحاشية الاضافية يبقى ثابتا على الدوام . واذا كانت الحاشية ، عند وقوع القرص الابيض على مسافة قريبة ، تزيد عن مساحته بمقدار ١٠٪ فقط ، فعند وقوعه على مسافة بعيدة ، حيث يصغر بالذات ، عندئذ سوف لا تساوى تلك الزيادة نفسها ، ١٠٪ ، بل متساوى مثلا ٣٠٪ او حتى ٥٠٪ من مساحة القرص . ان خاصية العين المشار اليها ، توضح لنا كذلك ، الخصائص الغريبة التي توجد في الشكل ١٣٧ .

اذا نظرنا الى الشكل المذكور من مسافة قريبة . لرأينا عددا من الاقراص البيضاء ، المرسومة على صفحة سوداء . ولكن عندما نبعد الكتاب عن العين ، وننظر الى الشكل



شكل ١٣٨ : ان الاقراص السوداء تبدو من مسافة بعيدة وكأنها سدسات منتظمة .



شكل ١٣٧ : اذا نظرنا الى هذا لشكل من مسافة بعيدة نوعا ما ، لرأينا ان الاقراص البيضاء تتحول الى سدسات منتظمة .

من مسافة خطوتين او ثلاث خطوات ، واذا كان نظرنا قويا ، ننظر اليه من مسافة تتراوح بين ٦ و ٨ خطوات ، سنرى ان الشكل يتغير بوضوح ، وستظهر امامنا بدلا من الاقراص ، سدسات بيضاء تشبه خلايا النحل .

اننى لست مقتنعا تماما بتفسير خدعة الاشعاع هذه ، منذ ان لاحظت ان الاقراص السوداء المرسومة على صفحة بيضاء ، تبدو من بعيد على هيئة سدسات ايضا (شكل ١٣٨) ، مع ان الاشعاع فى هذه الحالة ، لا يكبر الاقراص بل يصغرها . ويجب القول بان التفسيرات التى تعلل الخداع البصرى بصورة عامة ، لا يمكن اعتبارها مقنعة تماما ، كما ان معظم الخدع البصرية لا تجد لها تفسيراً لحد الآن .

اي الحروف اكثر اسودادا ؟

ان الشكل ١٣٩ " . يجعلنا نكتشف نقصا آخر فى عيوننا يسمى بـ « اللانقطية » . واذا نظرنا الى الشكل المذكور بعين واحدة ، لظهر لنا بان الحروف المبينة فيه . ليست كلها متماثلة الاسوداد . لاحظ اي الحروف الاربعة اكثر اسودادا . ثم ادر الشكل

« ان الكلمة المبينة فى الشكل ١٣٩ هى كلمة روسية وتعنى « عين » .



شكل ١٣٩ : عندما ننظر الى هذا الشكل بعين واحدة ، يبدو لنا ان احد الحروف اكثر اسودادا من الحروف الاخرى .

جانبا ، وسترى تغيرا مفاجئا . اذ يصبح الحرف الأكثر اسودادا ، رماديا ، ويبدو احد الحروف الاخرى اكثر اسودادا .

وفي الحقيقة ، فان جميع الحروف الاربعة متماثلة الاسوداد ، ولكنها مظللة في اتجاهات مختلفة فقط . فاذا كانت العين خالية من النقص ، كبقية العدسات الزجاجية ، لما اثر اتجاه التظليل ، على اسوداد الحروف . ولكن العين البشرية ، لا تكسر الاشعة بصورة متساوية تماما في مختلف الاتجاهات . ولهذا السبب ، لا يمكننا في الحال ، ان نرى الخطوط العمودية والافقية والمائلة ، بدرجة متساوية من الدقة والوضوح . ولا

يوجد الا القليل النادر من الناس ، الذين تخلو عيونهم من هذا النقص . وتصل « اللانقطية » عند بعض الناس الى درجة كبيرة ، تؤثر على النظر ، اذ تقلل من حدته . ولهذا يضطر مثل هؤلاء الناس الى استعمال النظارات لكي يتمكنوا من الرؤية بوضوح .



شكل ١٤٠ : الصورة المحيرة .

وتوجد في العين ، عيوب عضوية اخرى ، يمكن تلافيها عند صنع الاجهزة البصرية . وقد تحدث العالم الشهير هيلمهولتز، عن هذه العيوب ، فقال : « اذا فكر احد صناع الادوات البصرية ، بان يبيعني جهازا له مثل هذه العيوب .

لشعرت باننى على حق تماما ، اذا اعتبرت ذلك الرجل غير دقيق فى عمله ، واعدت اليه الجهاز مقرونا بالاحتجاج .

ولكن بالاضافة الى هذه الخدع ، التى تقترن بوجود عيوب معروفة فى التركيب ، فان عيوننا تقع تحت تأثير عدد من الخدع ، التى تكون لها اسباب اخرى ، تختلف تمام الاختلاف عن الاسباب المذكورة اعلاه .

الصور الخفية

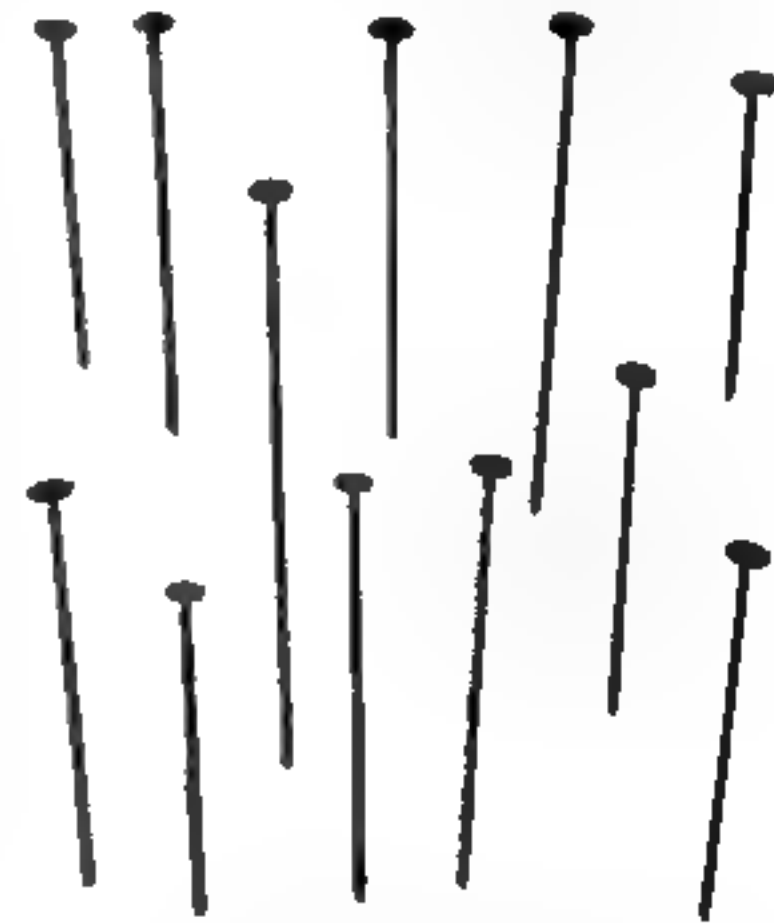
من المحتمل ان يكون معظم القراء قد شاهد الصور ، التى لا ينظر الشخص الظاهر فيها باتجاه المشاهدين فحسب ، بل يلاحظهم بعينه ، اللتين يوجههما الى الجهة التى يقصدها المشاهدون . ان هذه الخاصية الطريفة

لتلك الصور ، معروفة منذ مدة طويلة ، وكانت تحير كثيرا من الناس دائما ، وحتى انها كانت تخيف الناس العصبيين : وقد وصف الكاتب الروسى الشهير جوجول ، تلك الحالة وصفا بديعا فى قصته « الصورة » ، حيث قال : « حدثت اليه العينان ، وبدا وكأنهما لا

تريدان النظر الى اى شىء آخر سواه ... لقد تجاوزتا كل شىء حولهما ، وراحتا تحدقان اليه تماما ، وتصل نظراتهما الى اعماقه ببساطة ... »

وهناك كثير من الاساطير الخرافية ،

المتصلة بهذه الخاصية الغامضة ، للعينين الظاهرتين فى تلك الصور المذكورة . اما فى الحقيقة ، فهى لا تخرج عن كونها خدعة



شكل ١٤١ : اذا اغضنا احدى العينين وركزنا العين الاخرى فى نقطة تلاقى امتدادات الدبابيس بصورة تقريبية ، لظهرت هذه الدبابيس وكأنها مفروزة فى الورقة تماما . وعندما نحرك الشكل من جهة الى اخرى بهدوء ، نرى ان الدبابيس تترجع تبعا لذلك .

بصرية . ان الخدعة تتلخص فى ان حدقة العين فى هذه الصور ، ثابتة فى وسط العين . وبهذا الشكل بالذات ، تبدو لنا عينا الشخص الذى ينظر الينا باستقامة تامة ، اما عندما ينظر الى احدى الجهات الاخرى ويمرر نظره بقربنا ، فان الحدقة وقزحية العين باكملها ، لا تظهران لنا فى وسط العين ، بل تكونان مزاحتين قليلا نحو طرف العين . وعندما نبتعد قليلا عن الصورة فى احد الاتجاهات ، فان الحدقتين لا تغيران من موقعهما بطبيعة الحال . بل تبقىان فى وسط العين . ولما كنا بالاضافة الى ذلك ، لا نزال نرى الوجه باكماله ، على وضعيته السابقة بالنسبة الينا ، فمن الطبيعى ان يبدو لنا وكأن الشخص الذى فى الصورة ، قد ادار رأسه نحونا وأخذ يتتبعنا .

وبنفس الطريقة ايضا ، تفسر الخواص المحيرة الاخرى لبعض الصور : حصان ينطلق نحونا باستقامة تامة ، ورجل يشير الينا باصبعه مهما تنحينا جانبا عن الصورة ، اذ تبقى يده ممتدة الى الامام ، باتجاهنا مباشرة ، وغير ذلك من الصور الاخرى . ويبيّن الشكل ١٤٠ ، نموذجا لتلك الصور . وكثيرا ما تستخدم مثل هذه اللوحات ، لاغراض الدعاية والاعلان .

واذا فكرنا مليّا فى سبب تلك الخدع البصرية ، لا تضح لنا انها ليست فقط غير مدهشة ، وانما العكس ، اذ كان الامر سيدعو الى الدهشة لو لم تكن للصور المذكورة مثل هذه الخاصية .

انواع اخرى من الخداع البصرى

ان مجموعة الدبايس المبيّنة فى الشكل ١٤١ ، ليس فيها ما يدعو الى الدهشة للوهلة الاولى . ولكن اذا رفعنا الكتاب الى مستوى النظر ، واغمضنا احدى العينين ، ونظرنا الى تلك الدبايس ، بحيث يتزلق خط الرؤية على طول الدبايس (يجب ان تستقر العين فى النقطة التى تتقاطع فيها امتدادات الدبايس) ، لرأينا عندئذ ، بان الدبايس تبدو وكأنها غير مخططة على الورقة ، بل مغروزة فيها عموديا . وعندما ندير وجهنا قليلا الى احدى الجهات ، نرى وكأن الدبايس تميل الى نفس الجهة ايضا .

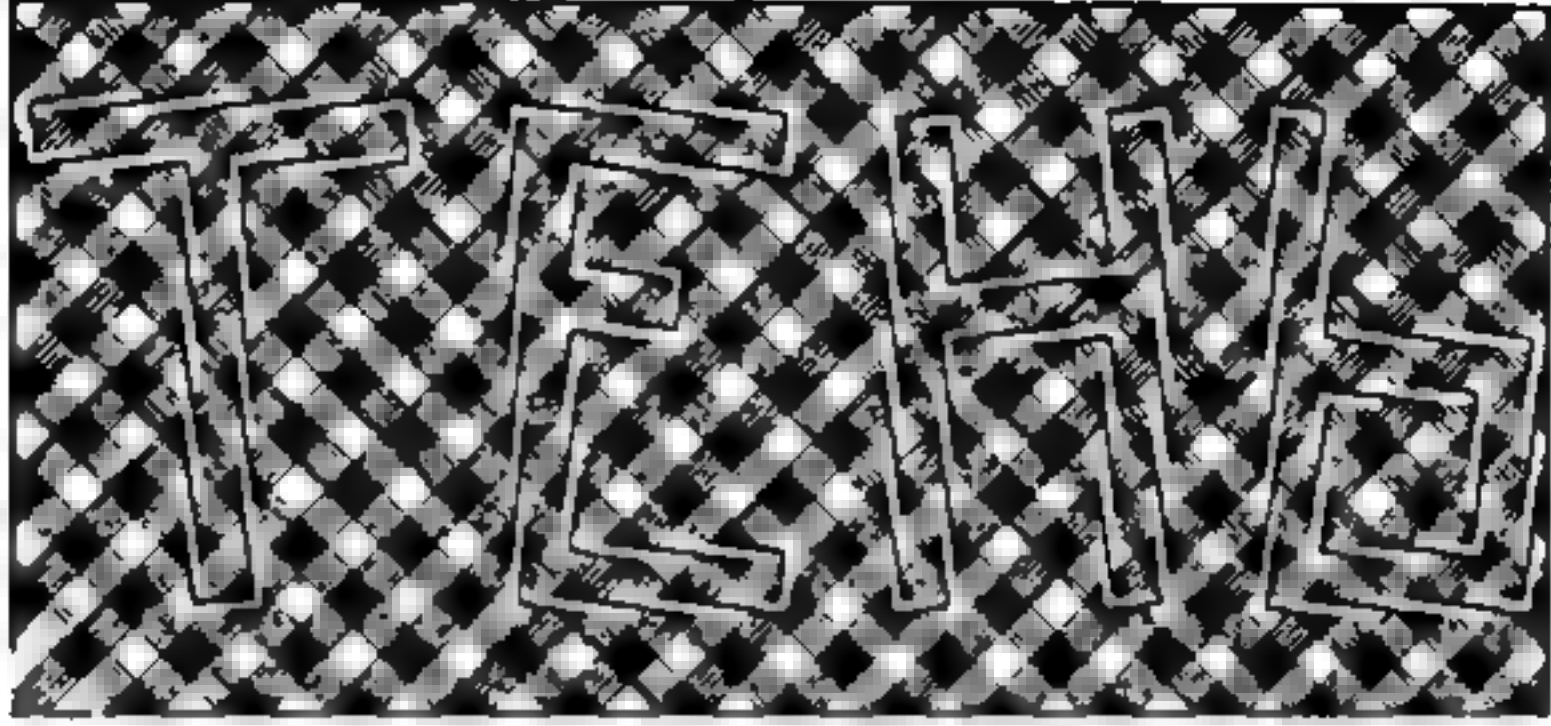
وتفسر هذه الخدعة البصرية ، بقوانين الشكل المنظورى : لقد رسمت الخطوط ، تبعاً لمساقط الديبايس المذكورة ، على الورقة التى غرزت فيها ، عندما ينظر اليها بالطريقة المبيّنة اعلاه .

ولا يجب علينا مطلقاً ان نعتبر الاستسلام لخداع البصر ، نتيجة لاحـا. العيوب البصرية الموجودة فى العين فقط . ولهذا الاستسلام ، فائدة كبيرة جداً ، غالباً ما تغيب عن الازهان . فاذا لم تكن العين تخضع لاي خداع بصرى ، لما رأينا المناظر الطبيعية ، ولحرماننا من التمتع بمشاهدة كافة اللوحات الفنية الجميلة . ويستفيد الرسامون كثيراً من هذه العيوب البصرية الموجودة فى العين .

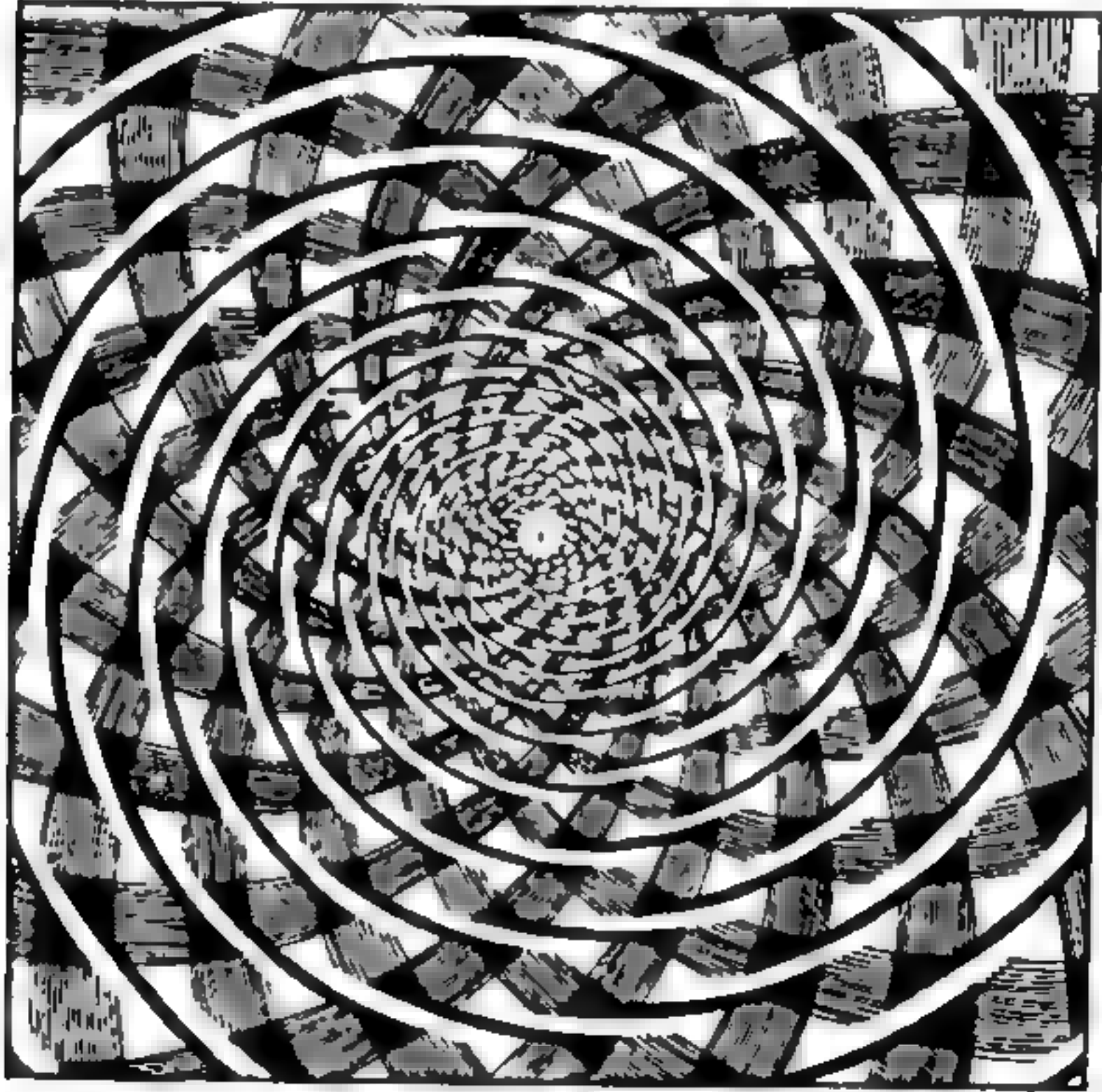
وقد كتب العالم العبقري ايلر - الذى عاش فى القرن الثامن عشر - فى ابحاثه المشهورة « رسائل حول مختلف المسائل الطبيعية » ما يلى :

« وعلى هذا الخداع البصرى ، تقوم كافة الفنون الرائعة المنظر . فلو كنا قد اعتدنا الحكم على الاشياء ، انطلاقاً من الحقيقة ، لما استطعنا رؤية هذه الفنون (اى اللوحات الفنية) ، تماماً كما لا يراها الاعمى . ولحاول كلّ رسام عبثاً ، ان يمزج بين الالوان . لاننا سنقول عندما ننظر اليها : هنا اللون الاحمر ، وهناك الازرق ، وهذا الاسود ، وهذه خطوط بيضاء . وستكون كافة الاشياء فى مستوى واحد ، ولن يكون هناك اختلاف فى المسافات ، ولن يمكننا وصف اى جسم . ولظهرت لنا كافة الاشياء التى اراد الرسام ان يعبر عنها ، بمثابة كتابة على ورقة . وبعد هذا كله ، اما كنا سنستحق الاشفاق . لو اننا فقدنا الاحساس بهذه المتعة ، التى نشعر بها عند مشاهدة اللوحات الفنية والمناظر الجميلة على الدوام ؟ » .

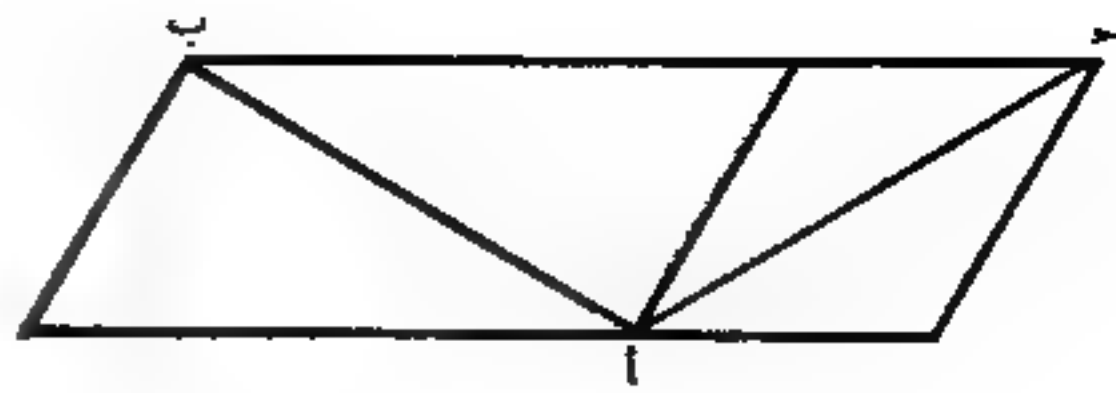
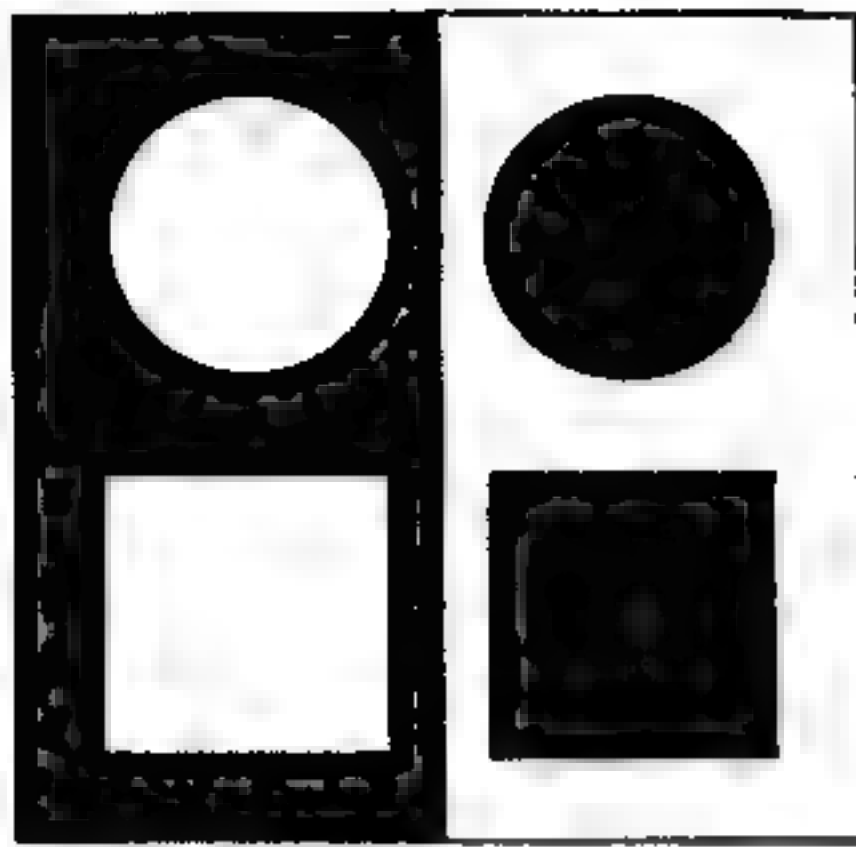
وتوجد انواع كثيرة جداً من خداع البصر ، ويمكننا ان نملأ البوما كاملاً بامثلة متنوعة من تلك الخدع المصورة . وكثير من هذه الخدع معروف لدى القراء جيّداً ، وبعضها غير معروف بهذه الدرجة . واقدام الآن للقراء ، بعض الامثلة الممتعة الاخرى ، الخاصة بخداع البصر ، والقليلة الانتشار بين الجماهير . هناك تأثير خاص المخدعتين البصريّتين ، المبيّتين فى الشكلين ١٤٢ و ١٤٣ ، اللذين يحتويان على بعض الخطوط



شكل ١٤٢ : ان هذه الحروف مرتبة بصورة عمودية .



شكل ١٤٣ : يبدو لكثيراً بأن هذه الخطوط حلزونية ، بينما هي عبارة عن دوائر مستقلة . ويمكن التأكد من ذلك بسهولة ، اذا تتبعنا تلك الخطوط برأس القلم .

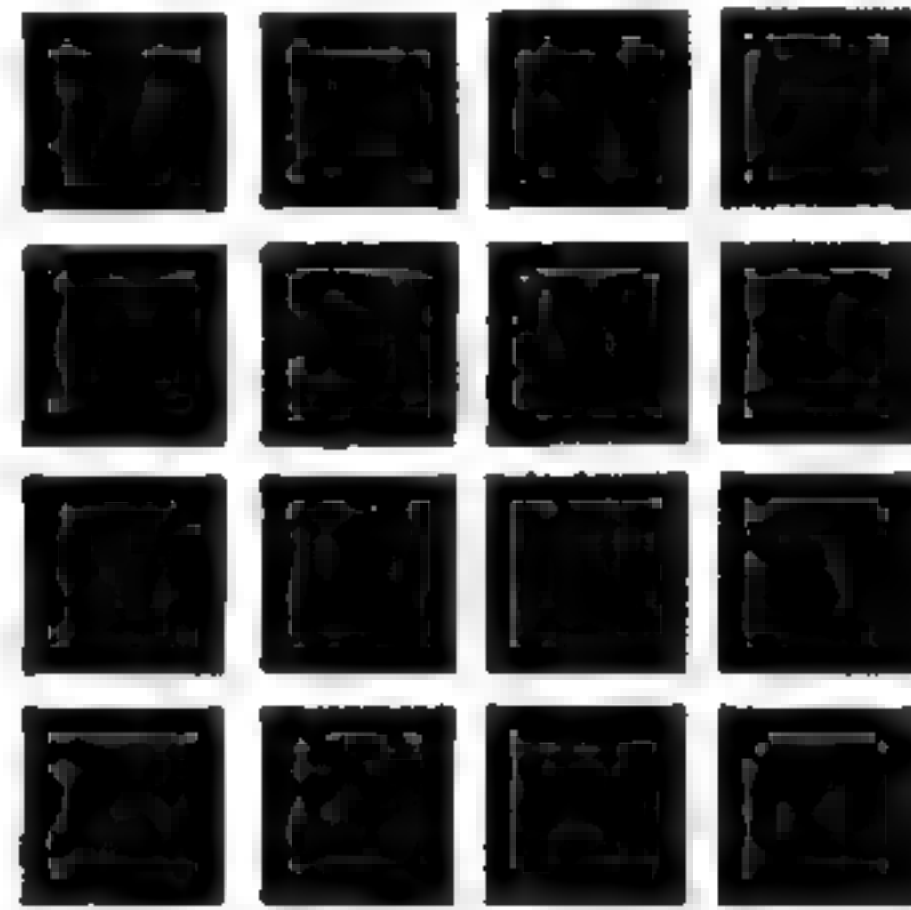
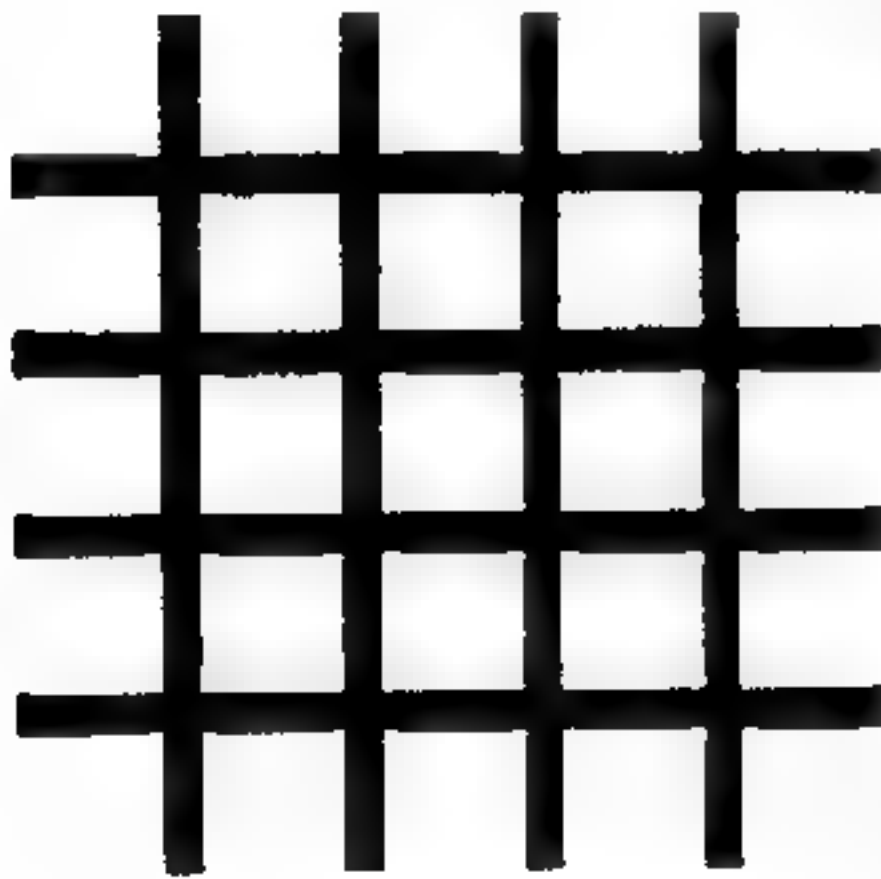


شكل ١٤٤ : ان المسافتين أ ب و أ ج متساويتان ، ولو ان المسافة الاولى تبدو اكبر من الثانية .



شكل ١٤٦ : ان المربعين الاسود والابيض متساويان تماما ، كما ان القوسين متساويان ايضا .

شكل ١٤٥ : يبدو للقارئ بأن الخط المائل ، الذي يقطع الشرائط البيضاء والسوداء ، هو عبارة عن خط منكسر .



شكل ١٤٨ : تظهر بقع رمادية خفيفة في اماكن تقاطع الشرائط السوداء مع بعضها .

شكل ١٤٧ : يبدو للقارئ بأن هناك بقعا رمادية مربعة تظهر وتختفي فجأة في اماكن تقاطع الشرائط البيضاء مع بعضها . اما في الواقع فان الشرائط ناصعة البياض كليا ، الامر الذي يمكن تأكيده منه بسهولة وذلك بتغطية المربعات السوداء المجاورة للشرائط ، بورقة بيضاء . ان سبب ظهور تلك البقع يعود الى التباين .

المرسومة على ورقة (لوحة) ذات خلفية شبكية . ان العين لاتصدق ابدا ، ان الحروف الموجودة فى الشكل ١٤٢ ، موضوعة بصورة عمودية . ومن الاصعب ان فصدق ان الشكل ١٤٣ ، لا يبين لنا حلزونا . وفى هذه الحالة ، سنضطر الى التأكد من الشكل بانفسنا ، بالفحص المباشر ، وذلك بوضع رأس القلم على احدى لفات الحلزون الموهوم ، ثم تحريكه تبعا للقوس ، دون الاقتراب من المركز او الابتعاد عنه . وبنفس الطريقة ، ولكن باستخدام فرجار ، يمكننا التأكد من ان الخط المستقيم أج (شكل ١٤٤) ، ليس اقصر من الخط المستقيم أب . اما حقيقة الخدع البصرية الاخرى التى تتضح من الاشكال ١٤٥ و ١٤٦ و ١٤٧ و ١٤٨ ، فتفسرها الكتابة الموجودة تحت كل منها . والحادثة الطريفة التالية ، تبين مدى تأثير الخدعة المبينة فى الشكل ١٤٧ : عندما تسلم احد ناشري احدى طبعات الكتاب السابقة الكليشييه المذكورة من ورشة الزنكوغراف ، اعتقد بان الكليشييه غير متقنة الصنع ، واراد ان يعيدها الى الورشة لازالة البقع الرمادية الظاهرة عند تقاطع الاشرطة البيضاء فيها . ولكنى دخلت الغرفة بالصدفة ، وشرحت له حقيقة الامر .

الرؤية عند المصابين بقصر البصر

ان الشخص المصاب بقصر البصر ، لا يرى جيدا بدون نظارات . ولكن ، ماذا يرى على وجه الخصوص ، وكيف تبدو الاشياء بالنسبة اليه : هذا ما لا يعرفه الاشخاص الذين يتمتعون بنظر سليم . وبهذه المناسبة ، نقول بان عدد المصابين بقصر ، البصر كبير نوعا ما ، ومن المفيد ان نتعرف على الصورة التى يرون بها العالم المحيط بنا . ويجب قبل كل شئ ، ان نذكر بان الشخص القصير البصر (بدون نظارات طبعا) ، لا يرى الرسوم المحيطية الحادة الملامح ، وتبدو كافة الاشياء امامه بصورة مشوشة . ان الشخص السليم النظر ، عندما ينظر الى احدى الاشجار ، فانه يميز الاوراق والاغصان المنفردة ، التى طبعت فى السماء بوضوح . اما قصير البصر ، فلا

يرى سوى كتلة خضراء مشوشة ، ذات ملامح خيالية غير واضحة . ناهيك عن الاجزاء الدقيقة التى تغيب عن ناظره .

ويبدو وجه الانسان ، بالنسبة لقصار البصر ، اكثر حداثة وفتنة ، مما يبدو عليه بالنسبة للأشخاص الذين يتمتعون بنظر طبيعي . لأن قصار البصر لا يرون التجاعيد والشوائب الأخرى ، الظاهرة على وجه الانسان ، ويرون لون البشرة الأحمر الخشن (طبيعيا كان ام اصطناعيا) ، وكأنه وردي رقيق . وكثيرا ما نتعجب من سذاجة بعض الأصدقاء ، الذين يخطئون فى تقدير اعمار الناس ، فيصغرونها بمقدار ٢٠ سنة تقريبا ، ويدهشنا ذوقهم الغريب فى تقدير الجمال ونتمهم بعدم اللباقة ، عندما يحملون فى وجوهنا تماما ، وكأنهم يتجاهلوننا ... ان هذا كثيرا ما يحدث ، بسبب قصر البصر فقط . ويتحدث الشاعر ديلفيج - وهو صديق الشاعر العظيم بوشكين ومعاصره - عن ذكرياته فيقول : « لقد منعنى فى مدرسة ابناء الفوات - اليسيه - من وضع النظارة على عينيّ ، ولهذا كنت أرى كافة النساء رائعات الجمال ، ولكنى اصببت بخيبة امل كبيرة بعد التخرج من تلك المدرسة ! » . وعندما يتحدث اليك (بدون نظارة) شخص قصير البصر ، فانه لا يرى وجهك مطلقا ، او على كل حال يرى شيئا يختلف عما تتوقعه . وتبدو امامه صورة مشوشة ، ولا تتعجب اذا قابلك بعد ساعة واحدة ، ولم يتعرف عليك ثانية . ويتعرف الشخص القصير البصر على الناس ، من اصواتهم ، اكثر مما يتعرف عليهم من وجوههم ، لان النقص فى قوة البصر ، يعوض بزيادة فى قوة السمع .

ومن الطريف ايضا ، ان نعرف كيف تبدو الدنيا فى الليل ، بالنسبة لقصار البصر . عند الاضاءة الليلية : تبدو جميع الاجسام الوضّاحة - الانوار والمصابيح والنوافذ المضاءة - ، بالنسبة لقصار البصر ، وكأنها قد ازدادت حجما الى درجة كبيرة ، وبذلك تتحول الصورة الى منظر مشوش من البقع المضيئة ، التى ليس لها شكل معين ، ومن الاشباح السوداء المبهمة . فبدلا من خطوط الانوار الموجودة على الشارع . يرى قصار البصر ، بقعتين او ثلاث بقع ضخمة مضيئة ، تحجب عن انظارهم كل ما تبقى

من الشارع . وهم لا يميزون السيارة المقتربة منهم ، ويرون بدلا منها هالتين مضيتين (المصاييح الامامية) ، ومن ورائهما كتلة سوداء .

وحتى ان منظر السماء في الليل يختلف تماما ، بالنسبة لقصار البصر ، عما هو عليه بالنسبة للناس السليمي البصر . ان الشخص القصير البصر ، لا يرى في هذه الحالة ، سوى النجوم ذات الحجم النجمية الثلاثة او الاربعة الاولى ، وبالتالي فبدلا من رؤية عدة آلاف من النجوم ، لا يرى سوى عدة مئات منها . وهذه النجوم القليلة التي يشاهدها ، تبدو امامه كندف ضخمة من الضوء . والقمر يبدو بالنسبة لقصار البصر ، ضخما وقريبا جدا ، اما الهلال ، فيأخذ في نظرهم شكلا خياليا مبتكرا .

ان سبب كل هذه التشوهات والزيادة الوهمية في حجوم الاجسام ، يكمن في تركيب عين الشخص القصير البصر . وتكون العين القصيرة البصر ، عميقة جدا ، بحيث ان انكساريتها المختلفة ، لا تجمع الاشعة القادمة من الاجسام الخارجية ، على شبكية العين بالضبط ، بل تجمعها امام الشبكية بمسافة ليلة . وهكذا تصل حزم الاشعة المتفرقة ، الى الشبكية المفروشة في قعر العين ، وتطبع عليها صورا مشوشة وغير واضحة .

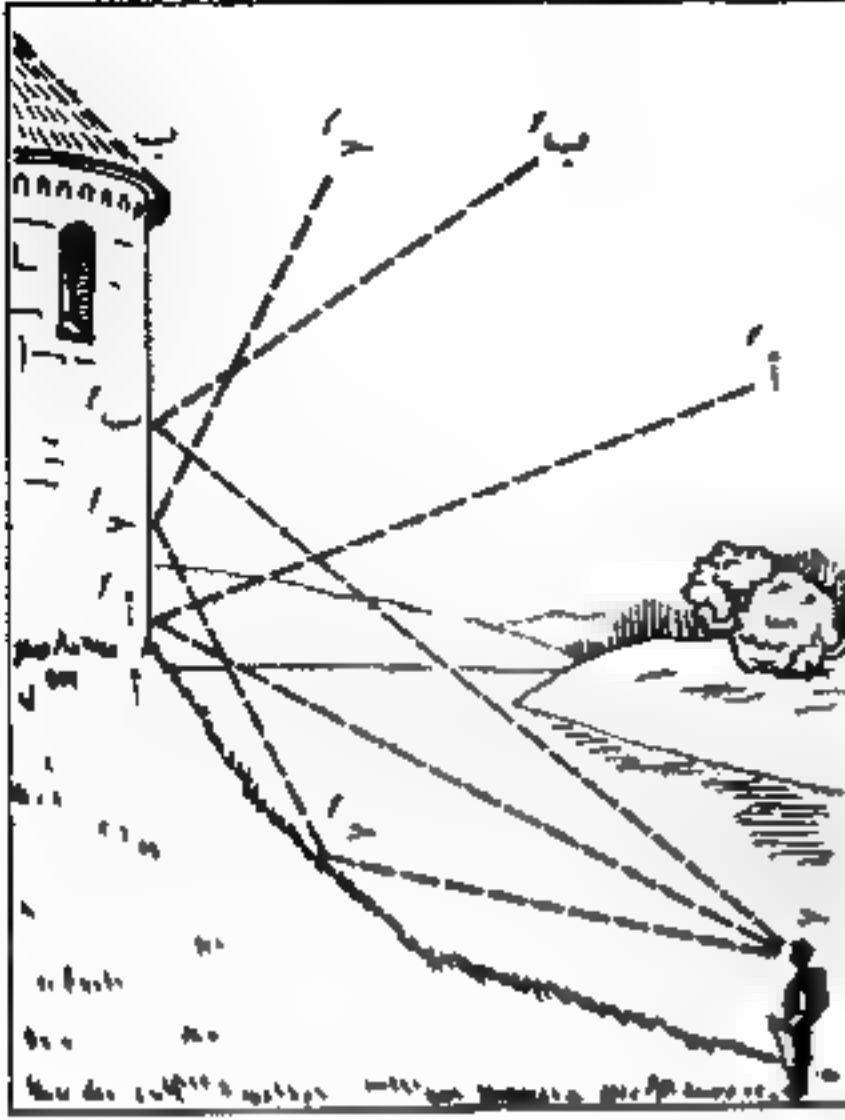
الفصل العاشر | الضوء والسبع

البحث عن الصدى

يحدثنا الكاتب الأمريكى الساخر مارك توين ، فى احدى قصصه الهزلية ، عن النكبات التى اصابته ذلك الرجل الذى اختار لنفسه هواية لا تخطر على بال انسان ، الا وهى جمع الصدى ! وقد قام هذا الرجل الغريب الاطوار ، بشراء جميع قطع الارض ، التى كان يتردد فيها الصدى المضاعف ، او اى صدى حقيقى غريب .

« وفى اول الامر اشترى فى ولاية جورجيا ، صدى يتردد اربع مرات ، وآخر فى ولاية مارييلاند ، يتردد ست مرات ، ثم اشترى فى مدينة ميني ، صدى يتردد ثلاث عشرة مرة . وتمت الصفقة التالية فى كنساس ، حيث اشترى صدى يتردد تسع مرات ، ثم تلتها صفقة اخرى بشراء صدى يتردد اثنتى عشرة مرة ، فى تينيسى ، وكانت هذه الصفقة الاخيرة رخيصة ، لان الصدى كان بحاجة الى ترميم ، بعد انهيار قسم من الصخور التى كانت تردد الصدى . وقد ظن ان بالامكان ترميم الصدى ، باتمام اقامة الصخور . ولكن المهندس المعمارى الذى تولى الامر ، لم يسبق له ان بنى صدى . ولذا ، فقد افسده فى نهاية الامر . اذ اصبح بعد التعمير لا يصلح الا لان يكون مأوى للصم والبكم ... » .

ان هذا نوع من الهزل طبعا . ولكن توجد فى الحقيقة ، انواع مدهشة من الصدى المضاعف ، فى مختلف بقاع الارض ، وعلى الاغلب فى المناطق الجبلية ، وقد اشتهرت بعض هذه المناطق على نطاق عالمى منذ قديم الزمان .



شكل ١٤٩ : انعكاس الصدى

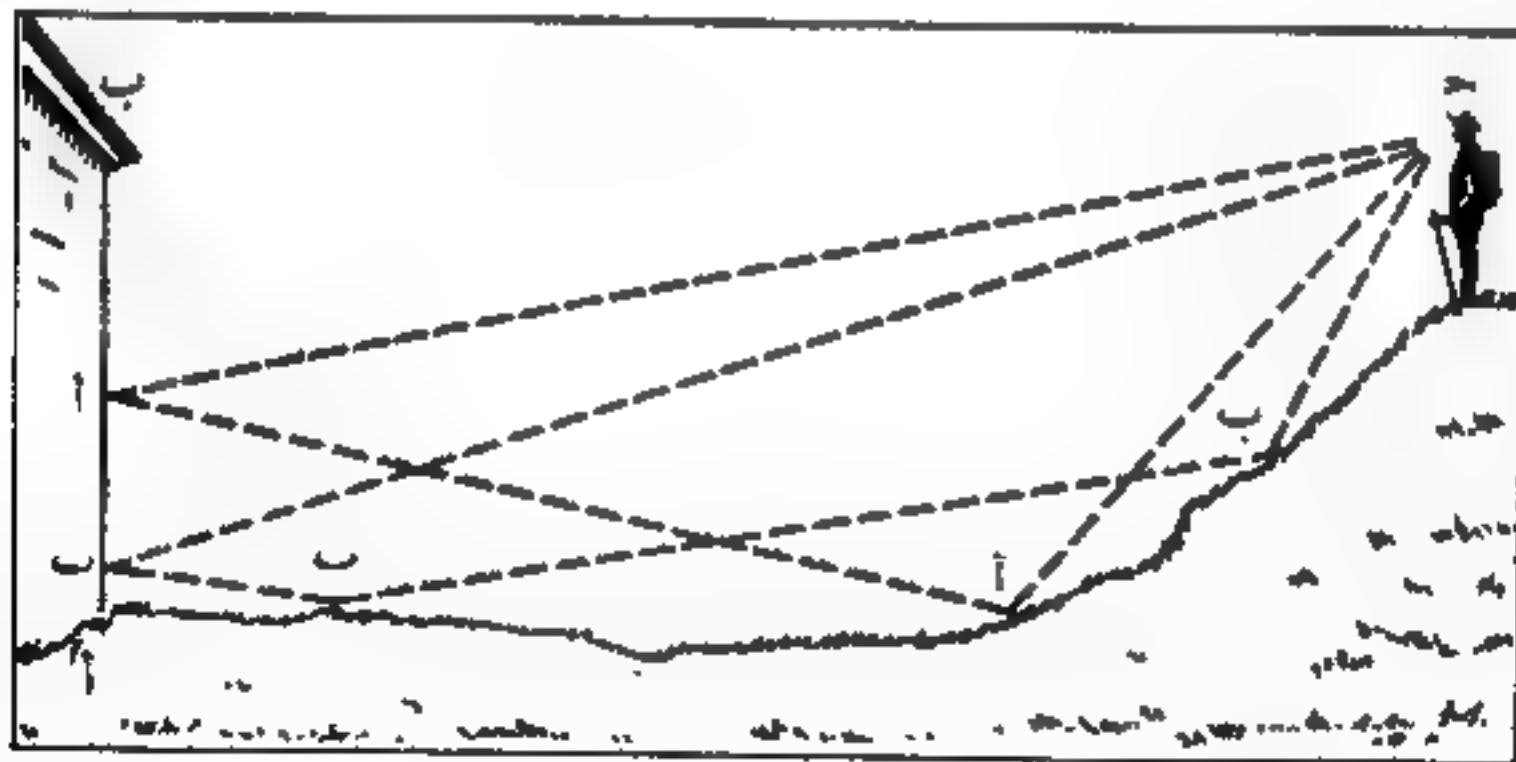
وفيما يلي نذكر بعض الاصدااء المشهورة . ان الصدى فى قصر دووستوك فى انجلترا ، يردد ١٧ مقطعا صوتيا بوضوح . وردد الصدى فى اطلال قصر ديرينبرج فى ضواحي مدينة جاليرشتاد بالمانيا ، ٢٧ مقطعا صوتيا ، قبل ان يتهدم احد جدرانها بتأثير القنابل . وهناك مكان معين فى الدارة الصخرية ، بالقرب من مدينة اديرسباخ فى تشيكوسلوفاكيا ، يردد فيه الصدى ٧ مقاطع ، لثلاث مرات على التوالى ، ولكن على بعد عدة خطوات من ذلك المكان ، لا يسمع اى صدى حتى لازيز طلقة البندقية . وقد

كان اكبر صدى مضاعف ، يحدث فى احد القصور القريبة من مدينة ميلان (غير موجود الآن) . اذ كان يردد ازيز الرصاصة المنطلقة من احدى نوافذ القصر ، عددا من المرات يتراوح بين ٤٠ - ٥٠ مرة ، ويردد الكلمة المنطوقة بصوت عال ، ٣٠ مرة . وليس من السهل العثور على المكان الذى يسمع فيه الصدى بوضوح ، ولو مرة واحدة . غير ان البحث عن مثل هذا المكان ، لا يتطلب جهدا كثيرا نوعا ما . ويوجد كثير من السهول المحاطة بالغابات ، وكثير من المروج فى الغابات ، حيث يمكننا ان نصبح بصوت عال ، لنسمع الصدى الذى تردده الغابة ، بدرجة معينة من الوضوح . ويكون الصدى فى الجبال اكثر تنوعا مما هو عليه فى السهول ، ولكن حدوثه فى الجبال اقل كثيرا من حدوثه فى السهول . وسماع الصدى فى الجبال ، اصعب من سماعه فى السهول المحاط بغابة .

والآن ، سنشرح سبب ذلك . ان الصدى ما هو الا عبارة عن ارتداد الموجات الصوتية ، المنعكسة عن احد الحواجز . وكما فى حالة انعكاس الضوء ، فان زاوية سقوط

« الشعاع الصوتي » ، تساوى زاوية انعكاسه (ان الشعاع الصوتي ، هو الاتجاه الذي تسلكه الموجات الصوتية) .

والآن ، تصور انك تقف عند سفح احد الجبال (شكل ١٤٩) ، وان الحاجز الذي يجب ان يعكس الصوت ، يقع اعلى من المكان الذي تقف عليه ، مثلا في أب . وتذكر بسهولة ، ان الموجات الصوتية التي تنتشر باتجاهات الخطوط جـ أ ، جـ ب ، جـ جـ ، سوف لا تنعكس واصلة الى اذنك ، بل تنعكس متشتتة في الفضاء باتجاهات الخطوط أـ أ ، بـ ب ، جـ جـ . وسوف يختلف الامر ، لو وقفت في مكان يقع في مستوى الحاجز ، او حتى اعلى منه بقليل (شكل ١٥٠) . ان الصوت المتجه الى الاسفل ، باتجاه الخطوط جـ أ و جـ ب ، سوف يعود واصلا الى اذنك باتجاه الخطتين المنكسرين جـ أ و جـ ب . بعد ان ينعكس عن الارض مرة واحدة او مرتين . ان الوادي الموجود بين النقطتين ، سوف يساعد على وضوح الصدى ، لانه يعمل عندئذ عمل المرآة المقعرة . ويحدث العكس ، اذا كانت الارض الموجودة بين النقطتين ، محدبة ، اذ يصل الصوت الى الاذن بصورة ضعيفة ، او لا يصلها البتة . ان مثل هذه الارض المحدبة ، تشتت « اشعة » الصوت ، كما تشتت المرآة المحدبة اشعة الضوء .



شكل ١٥٠ : صدى واضح .

ان البحث عن الصدى فى المناطق الوعرة ، يتطلب حذاقة معينة . حتى سند العثور على المكان الملائم ، يجب بعد ذلك ان نعرف كيف نحدث الصدى . ومن الضرورى قبل كل شئ ، عدم الوقوف على مقربة تامة من الحاجز ، اذ يجب ان يقطع الصوت ، مسافة طويلة كافية ، والا رجع الصدى مبكرا ، واندمج بالصوت نفسه . واذا علمنا بان الصوت يقطع ٣٤٠ م فى الثانية ، يمكننا بسهولة ان نفهم ، باننا عندما نقف على بعد ٨٥ م من الحاجز ، يجب ان نسمع الصدى ، بعد نصف ثانية من حدوث الصوت بالضبط .

ان الصدى لا يستجيب لكافة الاصوات بصورة متساوية ، فكلما زادت حدة الصوت ، كلما زاد وضوح الصدى . واحسن طريقة لاحداث الصدى ، هى التصفيق باليدين . وصوت الانسان اقل ملائمة لهذا الغرض ، خاصة صوت الرجل . والاصوات الرفيعة لدى النساء والاطفال ، تحدث صدى اكثر وضوحا .

الصوت بدلا من شريط القياس

اذا عرفنا سرعة انتشار الصوت فى الهواء ، يمكننا استخدامها بعد ذلك لقياس المسافة التى تفصلنا عن الاجسام التى لا نستطيع الوصول اليها . وقد وصف جول فيرن مثل هذه الحالة فى روايته « رحلة الى مركز الارض » . وخلال الرحلة فى جوف الارض ، فقد اثنان من الرحالة بعضهما البعض ، وهما البروفيسور وابن اخيه . واخيرا ، عندما تمكنا فى النهاية من تبادل سماع الاصوات من مسافة بعيدة ، جرى بينهما الحديث التالى : صاح ابن اخ البروفيسور مناديا عمه :

— اين انت ايها العم ؟ !

وبعد مدة قليلة سمع صوت البروفيسور :

— انا هنا يا صغيرى ، ماذا بك ؟

— اريد قبل كل شئ ان اعرف ما هى المسافة التى تفصلنا عن بعضنا ؟

— ليس من الصعب معرفة ذلك .

— هل بحوزتك كرونومتر ؟

— نعم .

— ضعه اذن امامك ، ثم انطق اسمي ، ولاحظ الوقت الذي تبدأ فيه الكلام بالضبط . وانا بدوري ساعيد نطق الاسم حالما يصل الى سمعي ، ويجب كذلك ان تلاحظ الوقت الذي تسمع فيه جوابي بالضبط .

— حسنا . عندئذ سيكون نصف الوقت الذي يمضي بين السؤال والجواب ،

بمثابة الوقت الذي يقطع فيه الصوت ، المسافة الموجودة بيننا . هل انت مستعد ؟

— نعم .

— انتبه ! سأنطق اسمك .

ويستمر ابن الاخ في حديثه قائلا : والصقت اذني بالحائط . وما ان سمعت كلمة « اكسيل » — اسم المتحدث — حتى رددتها في الحال ، ورحت انتظر .
واتاني صوت العم قائلا :

— اربعون ثانية ، اذن وصلني الصوت خلال عشرين ثانية . ولما كان الصوت يقطع ثلث كيلومتر في الثانية الواحدة ، تكون المسافة التي تفصلنا عن بعضنا ، مساوية لسبعة كيلومترات تقريبا (لقد ارتكب المؤلف هنا خطأ في الحساب ، وذلك لان سرعة الصوت تزداد بزيادة كثافة الوسط الذي ينتقل فيه . مثلا ، سرعة الصوت في ماء البحر هي ١٤٩٠ م/ثانية ، وتزداد سرعته كثيرا في المواد الصلبة) .

واذا كان القارئ قد فهم جيدا كل ما جاء في الحديث السابق ، سيكون باستطاعته عندئذ ، حل المسألة التالية :

اذا سمع احد الاشخاص صفير قطار بعيد ، بعد ثانية ونصف من رؤية الدخان الابيض ، الذي ينشأ عنه الصفير ، فما هي المسافة الموجودة بينه وبين القطار ؟

المرايا الصوتية

ان كلاً من جدار الغابة ، والسياج الخشبي العالى والمبنى والجبل ، وبصورة عامة كل حاجز يعكس الصدى ، ما هو الا عبارة عن مرآة صوتية : اذ انه يعكس الصوت ، تماما كما تعكس المرآة المستوية الضوء .

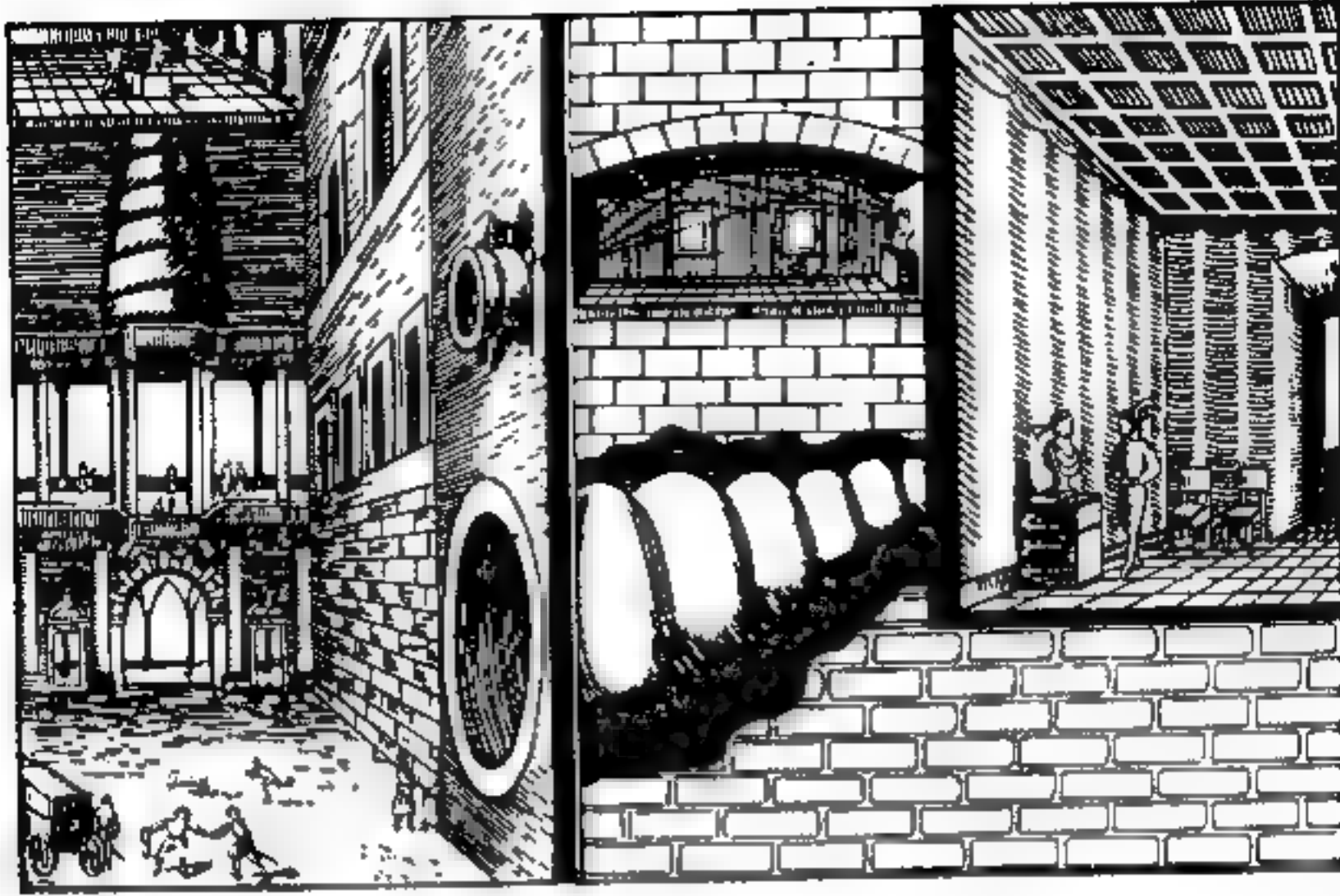
ولا تكون المرايا الصوتية مستوية فقط ، بل تكون مقعرة ايضا . ان المرايا الصوتية المقعرة ، تعمل عمل العاكس ، حيث تركز « الاشعة الصوتية » فى بؤرتها .

ويمكننا القيام بتجربة ممتعة من هذا القبيل ، اذا احضرنا طبقين من اطباق الحساء . نضع احد الطبقين على المنضدة ، وتناول ساعة جيب ، ونضعها فى يدنا على بعد عدة سنتيمترات عن قعر الطبق . ونمسك الطبق الثانى قريبا من اذننا ، كما يبين الشكل ١٥١ . فاذا كان وضع الساعة والاذن والطبقين ، صحيحا (يتم التوصل الى ذلك بعد عدد من المحاولات) ، لسمعنا دقات الساعة ، كما لو كانت تنبعث من الطبق القريب من الاذن بالضبط . وعندما نغمض عينينا ، يزداد تأثير ذلك الانطباع ، حتى اننا لا نستطيع فى هذه الحالة ان نميز تماما ، باية يد نمسك الساعة — باليمنى ام بالشمال .

وكثيرا ما قام ببناءوا القصور فى القرون الوسطى ، بالعمل على خلق العجائب الصوتية ، وذلك بوضع تمثال نصفى اما فى بؤرة مرآة صوتية مقعرة ، او عند نهاية انبوب تخاطب ، مخفى فى الجدار بصورة فنية . ويبين الشكل ١٥٢ ، المأخوذ من كتاب قديم صدر فى القرن السادس عشر ، تلك الادوات المنجزة بحيلة ودهاء : مقف على هيئة عقد (قبة) ، يوجه الى شفتى التمثال النصفى ، الاصوات القادمة من الخارج عن طريق انبوب التخاطب ، وهناك انايب تخاطب ضخمة ، مثبتة بالطوب فى البناية ، تنقل الاصوات المختلفة من الفناء الخارجى الى التماثيل المرمرية ، المثبتة عند جدران احدى قاعات القصر .. الخ . ويبدو لمن يزور مثل هذه الاماكن ، وكأن التماثيل المرمرية ، تتهامس وتغنى ... وما شابه ذلك .



شكل ١٥١ :
المرايا الصوتية المقعرة .



شكل ١٥٢ : مصادر الاصوات المعجبة في احد القصور القديمة - التماثيل الناطقة (الصور مأخوذة من كتاب وضعه اثاناسيوس كيرخير عام ١٥٦٠) .

الاصوات في صالة المسرح

ان من تردد كثيرا على المسارح وقاعات الموسيقى ، يعرف جيدا بان هناك قاعات تسمع فيها الاصوات بنغم جيد ، واخرى تسمع فيها الاصوات بنغم رديء . وفي بعض تلك القاعات تسمع اصوات الغناء والموسيقى من مسافة بعيدة بوضوح ، وفي البعض الآخر ، لا تسمع الاصوات بوضوح ، حتى من مسافة قريبة .

وفي الماضي القريب ، كان بناء المسرح الذى تعطى صالته اصوات جيدة ، يعتبر من قبيل الصدف السعيدة . وقد وجدت في الوقت الحاضر وسائل خاصة للتخلص من الارتداد ، الذى يفسد قابلية السمع . وسوف لا نشرح فى هذا الكتاب ، تلك الوسائل ، التى لاتهم سوى المعمارين وحدهم . ونشير هنا الى شىء واحد فقط ، هو

ان وسائل التخلص من الصوت الرديء ، تلخص فى انشاء سطوح تمتص الصوت الزائد .
ان احسن ممتص للصوت ، هو النافذة المفتوحة (كما يعتبر الثقب احسن ممتص للضوء) .
حتى ان المتر المربع الواحد من النافذة المفتوحة ، يعتبر بمثابة وحدة لقياس امتصاص الصوت .

ان المشاهدين الموجودين فى صالة المسرح يمتصون الصوت جيدا - مع ان امتصاصهم للصوت ، يقل بمرتين عن امتصاص النافذة المفتوحة - ان كل مشاهد يعادل من هذه الناحية ، حوالى نصف متر مربع من النافذة المفتوحة . واذا صحت ملاحظة احد علماء الفيزياء ، التى جاء فيها قوله : « ان قاعة المحاضرات تمتص صوت المحاضر بالمعنى الحرفى لهذه الكلمة » . فلا يقل عن ذلك صحة قولنا بان القاعة الخالية ، هى الاخرى غير مرضية بالنسبة للمحاضر ، بالمعنى الحرفى للكلمة ايضا .

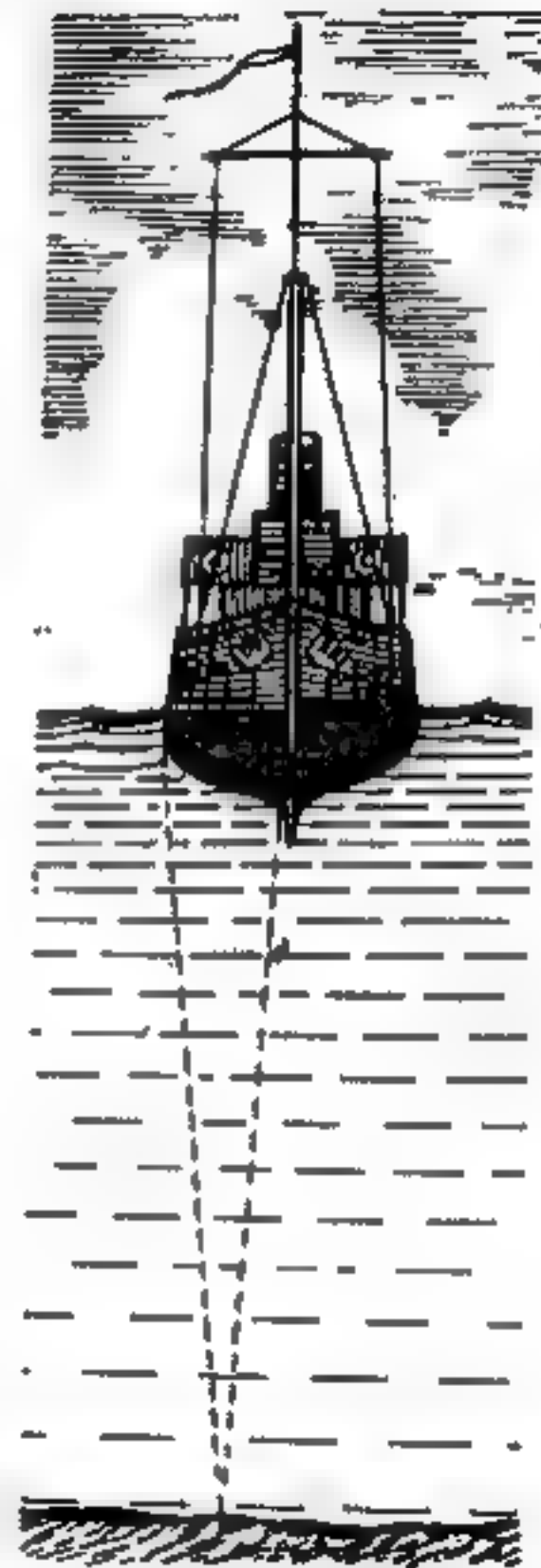
واذا كانت درجة امتصاص الصوت ، كبيرة جدا ، فان هذا ايضا يسىء الى قابلية السمع : اولا ، ان امتصاص الصوت بدرجة كبيرة جدا ، يعمل على كتم الاخير ، وثانيا يقلل الارتداد الى درجة ان الاصوات تسمع عندئذ وكأنها مقطعة ، وتولد انطبعا عن وجود بعض الجفاف فى تلك الاصوات . ولهذا ، فاذا توجب علينا التخلص من الارتداد الطويل ، فان الارتداد القصير جدا ، غير مرغوب فيه ايضا . ان قيمة احسن ارتداد بالنسبة لمختلف الصالات ، تكون غير متساوية ، ويجب تثبيتها عند تصميم كل صالة على حدة .

ويوجد فى المسرح شىء آخر طريف من وجهة نظر الفيزياء ، وهو كشك الملقن . هل لفت نظر القارئ ، الشكل الموحد لذلك الكشك فى جميع المسارح ؟ ان سبب توحيد الشكل ، يعود الى ان كشك الملقن ، هو جهاز فيزيالى ، فريد فى نوعه . ان عقد الكشك ، هو عبارة عن مرآة صوتية مقعرة ، لها وظيفة مزدوجة ، هى منع الموجات الصوتية المنطلقة من شفتى الملقن ، من الاتجاه نحو الجمهور ، وبلاضافة الى ذلك ، عكس تلك الموجات باتجاه خشبة المسرح .

الصدى وقاع البحر

مرت على الانسان حقبة طويلة من الزمن ، دون ان يستطيع الاستفادة من الصدى ، حتى اخترعت طريقة لقياس عمق البحار والمحيطات بواسطة الصدى . وقد تم اختراع هذه الطريقة بالصدفة . ففي عام ١٩١٢ ، غرقت باخرة الركاب الضخمة « تيتانيك » بجميع ركابها ، نتيجة لاصطدامها المفاجئ بجبل جليدى عائم ، كبير الحجم . ولتجنب مثل هذه الكوارث ، جرت محاولات للاستفادة من الصدى فى اكتشاف الجبال الجليدية العائمة ، الموجودة امام البواخر ، وذلك عند وجود الضباب او حلول الليل . ولم تنجح هذه الطريقة عمليا ، ولكنها أدت الى فكرة اخرى ، الا وهى قياس عمق البحار ، بواسطة انعكاس الصوت عن قاع البحر . وقد كانت هذه الفكرة ناجحة جدا .

ويبين الشكل ١٥٣ مخططا لهذه العملية . يوضع فى القسم المغمور من السفينة ، مصدر للذبذبات الصوتية . وتنتقل الموجات الصوتية خلال طبقة الماء ، حتى تصل الى القاع ، فتنعكس هناك ، ثم تقفل عائدة من حيث أتت وهى تحمل معها الصدى . ويلتقط الصدى بواسطة جهاز حساس موضوع عند بطن السفينة . وهناك ساعة دقيقة تقيس الفترة الزمنية بين نشوء الصوت وحدوث الصدى . واذا عرفنا سرعة الصوت فى الماء ، يسهل علينا حساب المسافة التى تفصلنا عن الحاجز الذى يعكس الصوت ، اى تعيين عمق البحر او المحيط .



شكل ١٥٣ : رسم
تخطيطى يبين عمل المسبار
بالصدى (جهاز قياس العمق
بالصدى) .

وقد احدث جهاز قياس الاعماق بواسطة الصدى (مسبار بالصدى) ، انقلابا حقيقيا في عمليات قياس اعماق البحار . فقد كان من الممكن استخدام الاجهزة القديمة لقياس الاعماق ، في حالة وقوف السفينة فقط ، علاوة على الفترة الزمنية الطويلة ، التي كانت تستغرقها العملية . كان شريط القياس الملفوف على بكرة ، يغطس في الماء بسرعة بطيئة (١٥٠ م/دقيقة) ، ويلف ثانية بنفس تلك السرعة تقريبا . وكانت عملية قياس عمق قدره ٣ كم ، بهذه الطريقة ، تتطلب ٤٥ دقيقة . ولكن بمساعدة الجهاز الحديث (المسبار بالصدى) يمكن القيام بنفس العملية في عدة ثوان ، اثناء حركة السفينة ، مع الحصول على نتائج احسن وادق بكثير . ان الخطأ في هذه الحالة لا يزيد على ربع متر (ويحدد الوقت اللازم لذلك ، الى درجة من الدقة تصل الى $\frac{1}{3000}$ من الثانية) . فاذا كانت للقياس المضبوط للاعماق الكبيرة ، اهمية كبيرة بالنسبة لعلم جغرافيا المحيطات ، فان امكانية تحديد عمق المياه الضحلة ، بسرعة ودقة ، تمثل عونا حقيقيا لعملية الملاحة البحرية ، حيث تجعلها مأمونة تماما . اذ انه بفضل جهاز المسبار بالصدى ، تستطيع السفينة الاقتراب من الساحل بسرعة واطمئنان .

وفي الاجهزة الحديثة من هذا النوع ، لا تستخدم اصوات عادية ، بل اصوات كثيفة منخفضة جدا ، لا تستطيع اذن الانسان سماعها ، يقدر ترددها بعدة ملايين من الذبذبات في الثانية الواحدة . وتحدث هذه الاصوات بتذبذب صفيحة من الكوارتز (البيرزوكوارتز) ، موضوعة في مجال كهربائي عالى التردد .

ان جهاز المسبار بالصدى ، من النوع الحديث ، اخترع لأول مرة في سنوات الحرب العالمية الاولى ، من قبل العالم الفيزيائي الفرنسي لانجيفين ، لغرض اكتشاف مواقع الغواصات الالمانية .

طنين الحشرات

لماذا يصدر الطنين عن الحشرات ؟ في اكثر الحالات لا تملك الحشرات مطلقا ، اعضاء خاصة تحدث الطنين ، ولا يسمع الطنين الا عند الطيران . وهذا الامر يعود الى

ان الحشرات عند طيرانها ، تحقق باجنحتها عدة مئات من المرات فى الثانية الواحدة . وبذلك يكون الجناح الصغير للحشرة ، عبارة عن صفيحة متذبذبة ، ونحن نعلم ان كل صفيحة سريعة الذبذبة (اكثر من ١٦ ذبذبة فى الثانية) ، تحدث نغمة ذات درجة معينة .

والآن سيعلم القارئ ، كيف تم تحديد عدد خفقات جناح هذه الحشرة او تلك ، فى الثانية الواحدة عند طيرانها فى الجو . للقيام بذلك يكفى ان نحدد باذننا ، درجة النغم الصادر عن تلك الحشرة فقط ، لان لكل نغم ما يلائمه من تردد الذبذبات . وقد اثبت بواسطة « آلة التصوير البطيئة الحركة » - راجع الفصل الاول - ان عدد خفقات اجنحة كل حشرة ، ثابت لا يتغير تقريبا . وعندما تتحكم الحشرة فى طيرانها ، فانها تغير حجم الخفقة (سعة الذبذبة) وميل الاجنحة فقط . اما عدد الخفقات فى الثانية ، فيزداد بتأثير البرد فقط . وهذا هو سبب عدم تغير النغمة الصادرة عن الحشرات عند طيرانها . لقد وجد مثلا ، ان الذبابة العادية (التى تصدر عنها النغمة ف) ، تقوم فى الثانية الواحدة بـ ٢٢٠ خفقة جناح . والنحلة ، التى تصدر عنها النغمة آ ، تقوم فى الثانية الواحدة بـ ٤٤٠ خفقة جناح ، عندما تطير بحرية ، و بـ ٣٣٠ خفقة فقط (النغمة ب) عندما تطير وهى محملة بالعسل . اما الصراصير التى تصدر عنها اثناء طيرانها ، نغمات اقل درجة ، فانها تحرك اجنحتها بشكل اقل رشاقة ، على عكس البعوضة ، التى يتراوح عدد خفقات اجنحتها بين ٥٠٠ - ٦٠٠ مرة فى الثانية الواحدة . ولأجل المقارنة ، نذكر هنا ان محرك الطائرة يدور فى الثانية الواحدة ٢٥ مرة فى المعدل .

خداع السمع

اذا كنا لسبب ما ، قد تصورنا ان مصدر الضوضاء الخافتة ، لا يقع بالقرب منا ، بل يبعد عنا كثيرا ، فان الصوت يبدو لنا اعلى من ذلك بكثير . ان مثل هذه الحالات من خداع السمع ، تحدث لنا غالبا ، ولكتنا لا نلتفت اليها دائما :

واليكم الحادثة الطريفة التالية ، التي وصفها العالم الأمريكى ويليام جيمس فى كتابه « علم النفس » :

« حدث مرة ان جلست لأقرأ فى وقت متأخر من الليل ، وفجأة سمعت ضوضاء مزعجة انبعثت من القسم العلوى للمتل ، ثم انقطعت ، ولكنها انبعثت مرة اخرى بعد دقيقة واحدة . وخرجت الى الصالة لاسمع الضوضاء ، ولكن لم يكن لها اثر هناك . وما ان عدت الى غرفتى وتناولت كتابى ، حتى انبعثت ضوضاء مزعجة قوية ، كذلك التى تسبق العاصفة او الفيضان ، وكانت تتبعث من كل مكان . وخرجت الى الصالة ثانية وانا شديد الانزعاج ، ولكن الضوضاء انقطعت مرة اخرى ايضا .

وعندما كنت عائدا الى غرفتى مرة ثانية ، اكتشفت فجأة ان الضوضاء صدرت عن شجير كلب صغير نائم على الارض ! ...

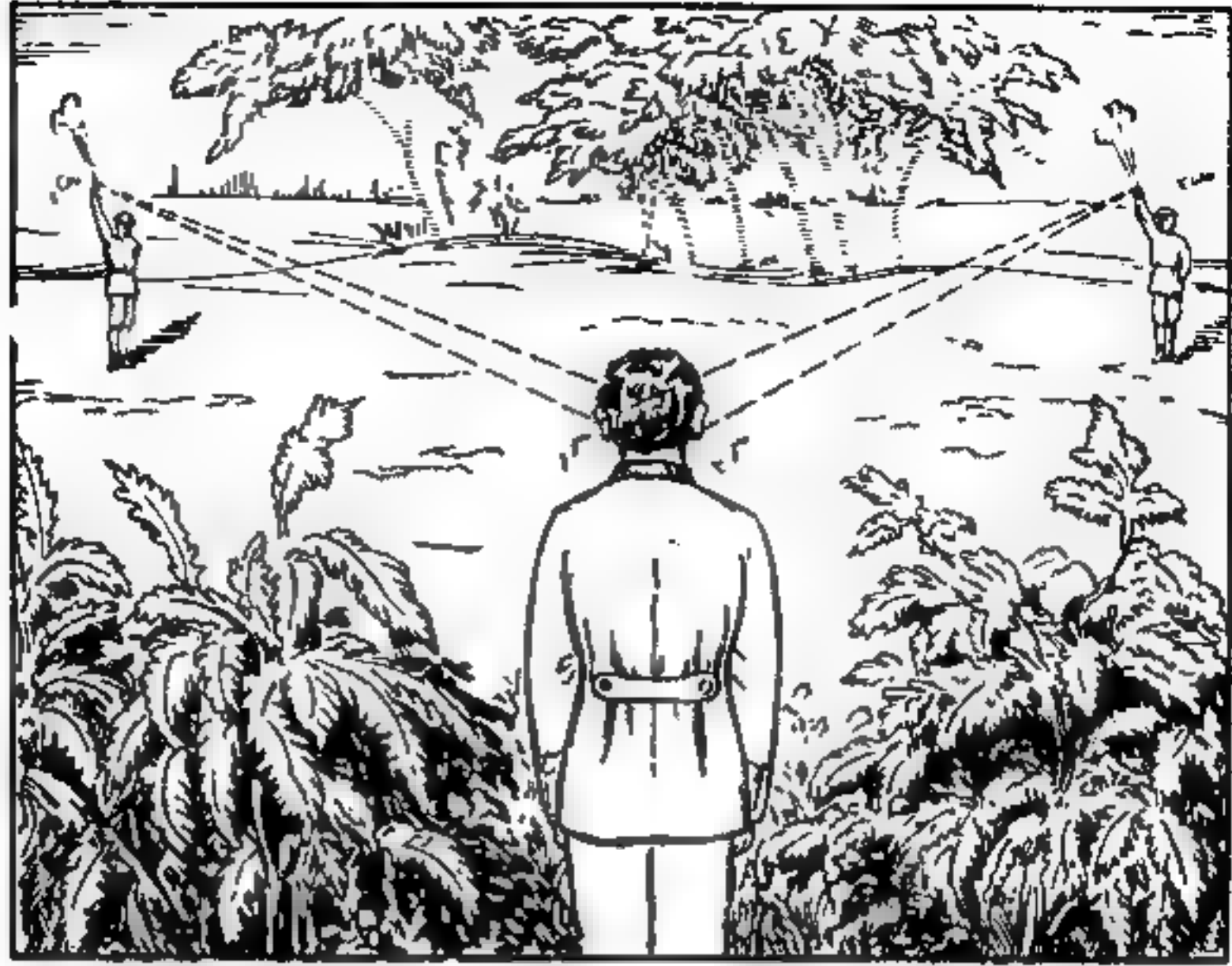
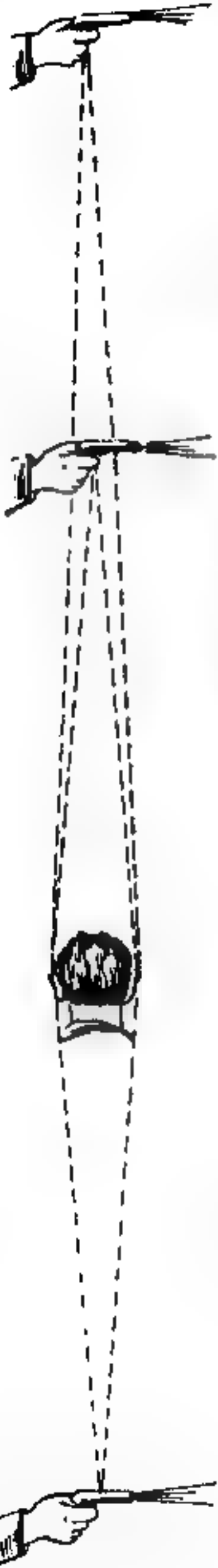
والطريف هنا ، اننى بعد ان اكتشفت السبب الحقيقى للضوضاء ، لم يعد فى استطاعتى ، رغم كل الجهود التى بذلتها ، ان استرجع فى سمعى ، تلك الضوضاء التى حدثت قبل دقائق .

ولعل القارئ يتذكر حادثة مماثلة ، وقعت له فى حياته . اما انا شخصيا فقد راقبت مثل هذه الحوادث عدة مرات .

اين يصوت المرصود ؟

كثيرا ما نخطئ ، عندما نعين الاتجاه الذى يأتى منه الصوت ، بدلا من تعيين المسافة التى تفصلنا عن مصدر الصوت .

ان الاذنين تميزان بوضوح ، صوت الطلقة القادم من اليمين ام من اليسار (شكل ١٥٤) . ولكنهما غالبا ما تعجزان عن تحديد موقع مصدر الصوت ، اذا كان واقعا امامنا او خلفنا تماما (شكل ١٥٥) ، وذلك لان الرصاصة التى تطلق من الامام ، كثيرا ما تسمع وكأنها قد اطلقت من الخلف . اننا فى هذه الحالات ، نستطيع فقط — تبعا لقوة



شكل ١٥٤ : من اية جهة اطلقت الرصاصة ؟ من الجهة اليسرى ام من الجهة اليمنى ؟

الصوت — ان نميز الطلقة البعيدة عن الطلقة القريبة . واليكم التجربة التالية ، التي نستطيع ان نتعلم منها الشيء الكثير .
نربط عيني احد الاصدقاء ، ونجلسه في وسط الغرفة ، ونطلب منه ان يجلس بهدوء والا يدير رأسه . ثم نأخذ يدينا قطعتين من النقود ، ونقرع احدهما بالآخرى ، مع المحافظة على وضعهما طوال الوقت ، في المستوى العمودي التخيلي ، الذي يمر بين

شكل ١٥٥ : من اين اطلقت الرصاصة ؟ من الامام ام من الوراء ؟

عيني ذلك الصديق ، ويقسم رأسه الى نصفين متساويين . ثم اطلب من صديقك ان يحاول تعيين موقع قطعتي النغود الرنانتين . فاذا كان الرنين صادرا من احدى زوايا الغرفة ، فان ذلك الصديق سيشير الى الزاوية المقابلة لها تماما ! واذا حرفنا القطعتين الرنانتين عن المستوى المذكور ، فان الخطأ سوف لا يكون كبيرا في هذه الحالة . وهذا شيء مفهوم ، ذلك لان الاذن القريبة تستمع الصوت بصورة اسرع قليلا واعلى من السابق ، وبفضل ذلك ، يستطيع الصديق المذكور تعيين مصدر الصوت .

وهذه التجربة ، توضح لنا بالمناسبة ، لماذا يصعب علينا تعيين موضع الصرصور ، الذي يصوت في العشب . ان الصرصرة الحادة تسمع على بعد خطوتين منا ، الى يمين الطريق . ونوجه نظرا الى مصدر الصوت ، ولكننا لا نرى شيئا ، بل نسمع الصوت آتيا من الجهة اليسرى للطريق . وعندما ندير رأسنا الى تلك الجهة ، نسمع الصوت آتيا من جهة ثالثة مختلفة . وكلما ادرنا رأسنا بسرعة ، الى الجهة التي ينبعث منها الصرير ، كلما خفت (تهادت) قفزات ذلك الموسيقى المختفي . ولكن في الحقيقة ، تكون الحشرة جالسة في مكان واحد . اما قفزاتها المدهشة ، فهي من بنات افكارنا وتصوراتنا الناجمة عن خداع السمع . ان الخطأ الذي نرتكبه هنا ، يتلخص في اننا ندير رأسنا ، بطريقة تجعل الصرصور يقع في مستوى التماثل العمودي لرأسنا . وفي هذه الحالة ، كما نعلم ، يسهل الوقوع في الخطأ عند تعيين اتجاه الصوت . اذ ان صرصرة الصرصور تنبعث امامنا ، ولكننا نعتقد خطأ بانها تنبعث من الجهة المقابلة .

ومن هنا نتوصل الى النتيجة العملية التالية :

اذا اردنا تحديد المكان الذي تنبعث منه صرصرة الصرصور وتغريد الطير ، وما شابه ذلك من الاصوات القادمة من بعيد ، فلا يجب ان ندير وجوهنا نحو الصوت ، بل نديرها الى جهة اخرى مختلفة . وبالمناسبة ، فاننا نقوم بذلك في الواقع ، عندما « ننصب اذنيننا » ، كما يعبر عن ذلك .

عجائب السمع

عندما نقضم الخبز اليابس بأسناننا ، نسمع صوتا يصم الأذن ، بينما يقضم الشخص الجالس بقربنا نفس الخبز ، بدون حدوث أى صوت مزعج . كيف تمكن جارتنا من التخلص من ذلك الصوت ، وبإية حيلة ؟

يتلخص الأمر فى أن الضوضاء والصرصرة ، تصلان إلى آذاننا فقط ، ولا تفلقان آذان جيراننا إلا قليلا جدا . أن عظام الجمجمة ، مثل بقية الأجسام الصلبة الأخرى بصورة عامة ، هى أجسام مرنة ، توصل الصوت بصورة جيدة جدا . والصوت بدوره يصبح أحيانا قويا جدا ، عند مروره فى وسط صلب (كثيف) . وعندما تصل الصرصرة إلى الأذن عن طريق الهواء ، تتقبلها الأخيرة على هيئة ضوضاء خفيفة ، ولكن هذه الصرصرة بالذات ، تتحول إلى قعقة عندما تنتقل إلى عصب السمع عن طريق عظام الجمجمة الصلبة . واليكم تجربة أخرى فى هذا المضمار : نضغط بأسناننا على حلقة ساعة الجيب ، ونسد آذاننا جيدا بأصابعنا . وفى هذه الحالة سوف نسمع ضربات ثقيلة . إذ يرتفع صوت دقات الساعة .

ويقال بأن الموسيقار الألماني العظيم بيتهوفن ، كان وهو أطرش ، يسمع العزف على البيانو ، بوضع أحد طرفى عصاه على البيانو ، ووضع الطرف الآخر قرب أسنانه . وبنفس الطريقة ، يستطيع أولئك الأطرش الذين سلمت أذنهـم الداخلية ، أن يرقصوا على أنغام الموسيقى ، لأن الأصوات تصل إلى أعصابهم السمعية عن طريق الأرض والعظام .

«عجائب التكلم من البطن»

إن الأعاجيب المدهشة ، التى يقوم بها المتكلمون من بطونهم ، مبنية على نفس خصائص السمع ، التى تحدثنا عنها ، فى الصفحات ٢٦٤ - ٢٦٨ .

لقد كتب البروفيسور جاميسون ما يلى : « إذا سار أحد الأشخاص على قمة السطح ، فإن صوته يحدث فى داخل الدار ، همسا خافتا . وكلما ابتعد عن القمة باتجاه الحافة ،

زاد خفوت الهمس . واذا جلسنا فى احدى غرف الدار ، فان اذنا لا تستطيع تمييز اتجاه الصوت وبعد مصدره عنا . ولكن تبعا لتغير الصوت ، يستنتج عقلنا بان مصدره يتعد عنا . اما اذا انخبرنا الصوت بالذات ، بان صاحبه يسير فوق السطح ، فاننا سنصدق ذلك بسهولة . واخيرا ، اذا تحدث احد الاشخاص مع الشخص صاحب الصوت ، من خارج ذلك المكان ، وحصل منه على بعض الاجوبة التوضيحية ، لكانت الصورة واضحة امامنا تماما .

وهذه هى الشروط ، التى تلائم عمل المتكلم من بطنه . وعندما يأتى دور الكلام الى الشخص الموجود فوق السطح ، فان الشخص المتكلم من بطنه يدمدم بصوت خافت . اما عندما يصله الدور فى الكلام ، فانه يتكلم بصوت واضح وقوى ، لكى يخفى التباين مع بقية الاصوات . ان محتوى ملاحظاته واجوبة محدثه المزعوم ، تقوى الصورة الخيالية . ان نقطة الضعف الوحيدة فى هذه الخدعة ، ربما تكون بادية من كون الصوت الموهوم للشخص الموجود فى الخارج ، يصدر فى الواقع عن شخص موجود على خشبة المسرح ، اى يكون اتجاهه مزورا .

« ويجب كذلك ان نلاحظ بان اسم المتكلم من بطنه ، هو اسم لا يلائم واقع الحال . ويجب على المتكلم من بطنه ان يخفى عن مستمعيه ، تلك الحقيقة التى تظهر عندما يأتى دور الكلام الى زميله ، يقوم هو بالكلام فى الواقع . ولهذا الغرض يستخدم مختلف الحيل . ويحاول بالاستعانة بمختلف انواع الإشارات ، ان يصرف عنه انتباه المستمعين . وعندما ينحنى جانبا ويقرب يده من اذنيه ، كما لو كان يشرق السمع ، فانه يحاول اخفاء شفثيه عن الانظار قدر استطاعته . وعندما لا يستطيع اخفاء وجهه ، فانه يحاول القيام بحركات الشفاه الضرورية فقط . ومما يساعده على ذلك هو ان الشيء المطلوب فى معظم الاحيان يعتبر همسا خافتا غير واضح . وتخفى حركات الشفاه بصورة جيدة ، بحيث تجعل بعض الناس يعتقدون بان صوت الفنان يخرج من مكان ما فى جوفه — ومن هنا اشتق اسم : المتكلم من بطنه .

وهكذا نرى ان العجائب المزعومة للتكلم من البطن ، مبنية كلياً على اساس اننا لا نستطيع ان نحدد اتجاه الصوت بدقة ، او بعد مصدره هنا . وفي الاحوال العادية ، نتوصل الى ذلك بصورة تقريبية فقط ، ولكننا اذا كنا في وضعية غير طبيعية لتقبل الصوت ، فسوف نرتكب خطأ كبيراً فيما يتعلق بتعيين مصدر الصوت . وعندما كنت شخصياً اراقب الشخص الذى يتكلم من بطنه ، لم يكن بمقدورى ان اشك فى الخدعة ، بالرغم فى اطلاقى التام على جليلة الامر .